BACALAUREAT 9 ADMITERE

DUMITRU TĂNASE

PROBLEME DE FIZICĂ

Termodinamică
Fizică moleculară
Căldură

11.624

Teora

40.872

III.11.624

Culegerea de față cuprinde probleme de termodinamică, fizică moleculară și căldură și se adresează atât elevilor din clasa a X-a de liceu, cât și candidaților la concursurile de bacalaureat sau admitere în învățământul superior.

Lucrarea conține probleme model rezolvate precum și teste de sinteză cu răspunsuri, care îl ajută pe elev să-și evalueze cunoștințele; noțiunile teoretice sunt prezentate pe scurt, la începutul fiecărui capitol, fiind urmate de aplicații.

Prin numărul mare de probleme propuse, cartea constituie un bogat material didactic și pentru profesorii de fizică.

105469
B.C.U. - IAȘI

Seria Bacalaureat * Admitere Nr. 9

Dumitru Tănase

Probleme de fizică

TERMODINAMICĂ, FIZICĂ MOLECULARĂ ȘI CĂLDURĂ

168466
B.C.U. - IASI

Teora

Cuprins

Prefață **7**

1. Proprietățile moleculare ale substanței **8**
Considerații teoretice 8
Aplicații 12

2. Legile gazelor **21**
Considerații teoretice 21
Aplicații 25

3. Principiul I al termodinamicii **41**
Considerații teoretice 41
Aplicații 46
Căldură și coeficienți calorici 46
Calorimetria 47
Puterea calorică 49
Transformarea energiei mecanice în căldură 50
Aplicațiile principiului I al termodinamicii la transformările gazelor 54

4. Principiul al doilea al termodinamicii **66**
Considerații teoretice 66
Aplicații 68

5. Dilatarea corpurilor. Termometrie **78**
Considerații teoretice 78
Scări de temperatură 78
Aplicații 82
Dilatația de volum 91
Variația densității cu temperatura 94
Termometria 95

6. Fenomene superficiale (fenomene moleculare în lichide) **99**
Considerații teoretice 99
Aplicații 101

7. Schimbarea stării de agregare. Considerații teoretice **108**
Topirea și solidificarea 110
Aplicații 110

8. Umiditatea admosferică. Higrometrie **126**
Considerații teoretice 126
Aplicații 128

Testul I 135
Testul II 138
Testul III 141
Testul IV 144

Răspunsuri 148
1. Proprietăți moleculare ale substanței 148
2. Legile gazelor 151
3. Principiul I al termodinamicii 160
4. Principiul al II-lea al termodinamicii 172
5. Dilatarea corpurilor. Termometrie 176
6. Fenomene superficiale 184
7. Schimbări de stare fizică 188
8. Umiditate atmosferică 199

Răspunsuri 203
Testul I 203
Testul II 203
Testul III 203
Testul IV 204
Anexă 206

Prefață

Lucrarea cuprinde probleme de termodinamică, fizică moleculară și căldură și se adresează elevilor din clasa a X-a de liceu și candidaților la bacalaureat și admiterea în învățământul superior.

Conține probleme model rezolvate, iar problemele propuse au răspunsuri și unele dintre acestea -- indicații.

S-au alcătuit și patru teste pentru a-l obișnui pe elev și cu această formă de examen.

Unele constante necesare rezolvării problemelor se găsesc în tabelele de la sfârșitul cărții.

Se recomandă elevilor să rezolve problemele întâi literal și apoi numeric, ca să aprofundeze toate formele de calcul și să se deprindă să verifice omogenitatea unei relații prin prelucrarea unităților de măsură. Unitatea de măsură trebuie să rezulte din calcul, în funcție de sistemul de unități folosit.

Autorul

1. Proprietățile moleculare ale substanței

Considerații teoretice

Molecula este partea cea mai mică dintr-o substanță care mai păstrează proprietățile acesteia. Moleculele unei substanțe oarecare sunt identice și au aceeași structură, aceeași masă și aceleași proprietăți mecanice și electrice.

Fenomenul de difuzie și mișcarea browniană dovedesc că moleculele oricărei substanțe, indiferent de starea ei de agregare, se află într-o mișcare permanentă, dezordonată, numită *mișcare termică* sau *agitație termică*. Aceasta este permanentă și dependentă de temperatură.

Cele mai mici molecule au dimensiuni de ordinul a 10^{-10} m și cele mai mari de ordinul a 10^{-6} m.

Între moleculele vecine există forțe de interacțiune.

În cadrul unei perechi de molecule există o forță de atracție gravitațională. Forțele care asigură coeziunea moleculelor unui lichid sau solid, numite forțe de coeziune, sunt, în general, de natură electrică și nu se supun legii lui Coulomb. Dependența forței dintre două molecule de distanța dintre ele este ilustrată în fig.1. Distanța r_0 se numește distanță de echilibru, în jurul acesteia moleculele oscilând.

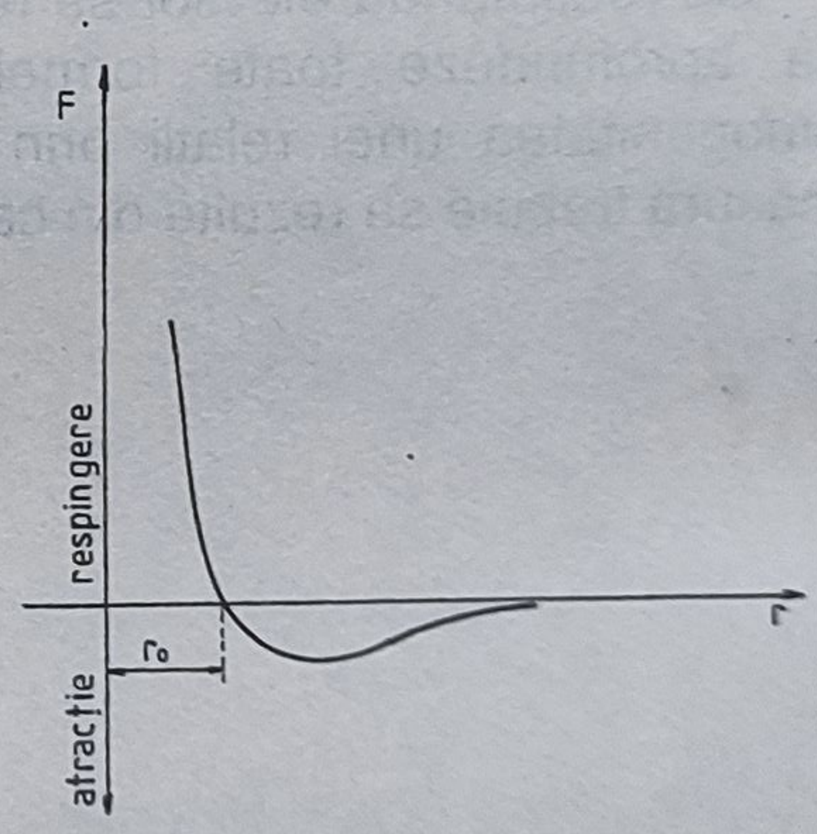


Fig. 1.

Forțele gravitaționale sunt neglijabile în comparație cu forțele de coeziune.

Molecula, la rândul ei, este formată din doi sau mai mulți atomi identici sau diferiți, între care se exercită forțe de legătură chimică.

Unitatea atomică de masă. Deoarece atomii și moleculele au mase foarte

mici, s-a căutat o altă unitate de masă față de care masele atomilor și moleculelor să fie exprimate, pe cât posibil, prin numere întregi, pentru ușurarea calculelor.

Prin convenția internațională din 1961, s-a definit unitatea *u* ca fiind egală cu a 12-a parte din masa atomului izotopului neutru $^{12}_{6}C$, unde:

$$1u = 1{,}660566 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Mase atomice și moleculare relative

Cum masele atomilor și moleculelor sunt foarte mici, se folosesc masele atomice și moleculare relative.

Se numește *masă atomică (moleculară) relativă* numărul care arată de câte ori masa unui atom (unei molecule) este mai mare decât a 12-a parte din masa atomului de carbon ($^{12}_{6}C$).

$$m_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}\cdot m_C} = \frac{12\cdot m_0}{m_C} = \frac{m_0}{u} \qquad (1)$$

m_r = masa atomică sau moleculară relativă;

m_0 = masa de repaus a atomului sau moleculei;

m_C = masa de repaus a atomului de carbon $^{12}_{6}C$.

Masa atomică (moleculară) relativă este o mărime adimensională.

Mol -- masă molară. Se numește *mol* cantitatea de substanță a cărei masă, exprimată în grame, este numeric egală cu masa moleculară relativă a substanței date.

Se notează cu μ sau cu M.

$[\mu]_{SI}$ = kg/kmol sau g/mol

Numărul lui Avogadro (N_A) -- reprezintă numărul de molecule dintr-un mol de substanță.

$$N_A = 1/u = 6{,}02217 \cdot 10^{23} \text{ molecule/mol sau } 6{,}02217 \cdot 10^{26} \text{ molecule/kmol}$$

Conform legii lui Avogadro, în aceleași condiții de temperatură și presiune, un mol dintr-un gaz oarecare ocupă același volum, numit *volum molar*, V_μ.

Pentru condiții normale de temperatură și presiune ($t = 0^oC$ și $p = p_0 = 1$ atm), volumul unui mol este:

$$V_{\mu 0} = 22{,}42 \text{ l/mol} = 22{,}42 \text{ m}^3\text{/kmol}$$

Numărul de molecule dintr-un cm^3 de gaz în condiții standard se numește *numărul lui Loschmidt*; $n_0 = N_A/V_{\mu 0} = 2{,}69 \cdot 10^{19}$ molecule/cm^3.

Numărul de moli, ν, rezultă din raportul dintre masa de substanță și masa molară corespunzătoare sau din raportul dintre numărul de molecule din

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI

cantitatea de substanță considerată și numărul lui Avogadro:

$$\nu = m/\mu = N/N_A \qquad (2)$$

În cazul gazelor, numărul de moli rezultă și din raportul dintre volumul gazului și volumul molar, în aceleași condiții de temperatură și presiune:

$$\nu = \frac{V}{V_\mu} \qquad (3)$$

Formula fundamentală a *teoriei cinetico-moleculare*

În urma ciocnirilor dintre moleculele gazului și pereții incintei, gazul va exercita asupra pereților presiunea:

$$p = 2/3\ n\ m_0\ \bar{v}^2/2 = 1/3\ \rho\ \bar{v}^2 \qquad (4)$$

unde:

p -- presiunea gazului pe pereți (N/m^2);

n = N/V (m^{-3}) numărul de molecule din unitatea de volum – *număr volumic* sau *concentrație moleculară*;

m_0 – masa de repaus a moleculei (kg);

$\bar{v}^2$ – media pătratelor vitezelor (media ponderată);

$m_0\bar{v}^2/2 = \bar{\varepsilon}$ – energia cinetică medie a unei molecule în mișcarea de translație;

$\rho = m/V = Nm_0/V$ (kg/m^3) -- densitatea gazului;

3 – reprezintă numărul gradelor de libertate în mișcarea de translație, din haosul molecular, după cele trei direcții, Ox, Oy și Oz, în cazul gazului monoatomic.

Viteza termică, v_T, sau viteza pătratică medie, $\sqrt{\bar{v}^2}$, este :

$$v_T = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{\mu}} \qquad (5)$$

unde:

$R = 8{,}3143 \cdot 10^3$ J/kmol K – constanta molară;

T – temperatura absolută a gazului (K)

μ – masa molară (kg/kmol)

În cazul gazelor biatomice (model halteră) (fig.2) deosebim încă două grade de libertate datorită rotației moleculei după axele 11' și 22'.

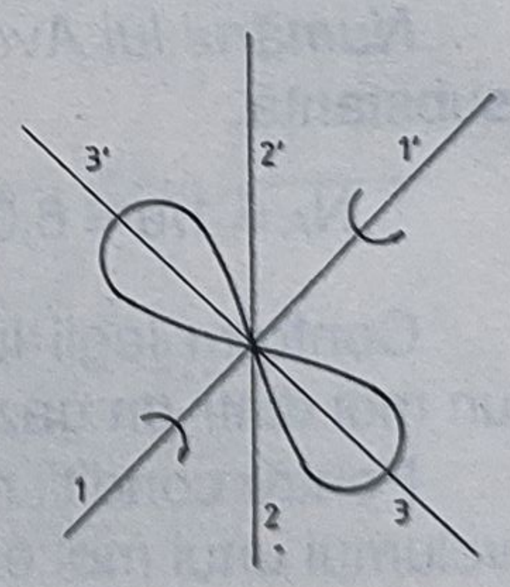


Fig. 2.

În cazul unei molecule poliatomice, rigide, cu trei sau mai mulți atomi în moleculă, deosebim 3 grade de libertate în mișcarea de translație și 3 grade de libertate în mișcarea de rotație, deci numărul total al gradelor de libertate i = 6.

Orice posibilitate de mișcare a unui corp (unei molecule) se numește *grad de libertate.*

Principiul echipartiției energiei. Fiecărui grad de libertate al unei molecule îi revine statistic o energie cinetică (termică) de 1/2KT, unde:

$K = R/NA = 1{,}38062 \cdot 10^{-23}$ J/K -- constanta lui Boltzmann

Cum mișcările moleculelor pot fi de translație, rotație și oscilație, deosebim trei feluri de energie cinetică.

Energia cinetică medie totală a unei molecule este:

$$\bar{\varepsilon}_c = \frac{i}{2}KT \quad (i = \text{numărul gradelor de libertate}) \qquad (6)$$

În cazul modelului de gaz ideal, forțele de interacțiune dintre molecule și dimensiunile moleculelor se neglijează și, în consecință, se neglijează și energia potențială $\bar{\varepsilon}_p$.

Pentru gazele reale, această condiție este îndeplinită pentru temperaturi ridicate și presiuni mici.

Atunci, energia internă, U, a unui gaz ideal este formată numai din energia cinetică a moleculelor:

$$U = N\bar{\varepsilon}_c = N\frac{i}{2}KT = \nu N_A\frac{i}{2}KT = \nu\frac{i}{2}RT = \frac{i}{2}pV \qquad (7)$$

Legea Joule: Energia internă a gazului ideal depinde numai de temperatură: U = U(T).

Proprietățile moleculare ale substanței

Aplicații

1.1. O picătură de ulei cu volumul $V = 2,4 \cdot 10^{-5}$ cm^3 se întinde la suprafața apei, formând o peliculă cu suprafața $S = 0,6$ dm^2. Considerând că moleculele se așază într-un singur strat, să se calculeze: a) diametrul și volumul moleculei; b) masa moleculei și numărul de moli, dacă $\rho = 900$ kg/m^3 și masa moleculară relativă medie $m_r = 400$.

Rezolvare. a) Pata de ulei are o grosime d egală cu diametrul moleculei și deci:

$$V = Sd \Rightarrow d = \frac{V}{S} = \frac{2,4 \cdot 10^{-5}\ cm^3}{60\ cm^2} = 4 \cdot 10^{-7}\ cm = 4 \cdot 10^{-9}\ m$$

Volumul V' al moleculei , considerată de formă sferică, este:

$$V' = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4\pi}{3} \cdot (2 \cdot 10^{-7} cm)^3 = 33,49 \cdot 10^{-21}\ cm^3$$

b) Numărul de moli:

$$\nu = m/\mu = V\rho/\mu = (2,4 \cdot 10^{-5}\ cm^3 \cdot 0,9\ g/cm^3) / (400\ g/mol) = 54 \cdot 10^{-9}\ moli$$

Masa medie a moleculei se obține din:

$$\mu = N_A \cdot m_0 \Rightarrow m_0 = \mu/N_A = (400\ g/mol) / (6,023 \cdot 10^{23}\ molecule/mol) =$$
$$= 66,41 \cdot 10^{-23}\ g/moleculă$$

Observație: S-a folosit valoarea medie deoarece uleiul mineral este un amestec de hidrocarburi.

1.2. Un vas cu volumul $V_0 = 11,21$ l conține oxigen în condiții standard. Dacă masa atomică relativă a oxigenului este 16, să se calculeze: a) numărul de moli; b) numărul de molecule; c) masa moleculei de oxigen și densitatea oxigenului.

Rezolvare. a) Numărul de moli este

$$\nu = V_0/V_{\mu 0} = 11{,}21 \text{ l} / (22{,}42 \text{ l/mol}) = 0{,}5 \text{ moli}$$

b) Numărul de molecule N este

$$N = \nu N_A = \frac{V_0}{V_{\mu 0}} \cdot N_A = 0{,}5 \text{ moli} \cdot 6{,}023 \text{ molecule/mol} = 30{,}115 \cdot 10^{22} \text{ molecule}$$

c) Masa moleculei m_0 se obține din relația

$$\mu = N_A \cdot m_0 \Rightarrow m_0 = \mu/N_A = (32 \text{ g/mol}) / (6{,}023 \cdot 10^{23} \text{ molecule/mol}) \approx 5{,}31 \cdot 10^{-23} \text{ g} = 5{,}31 \cdot 10^{-26} \text{ kg}.$$

$$\rho = \mu/V_{\mu 0} = (32 \text{ g/mol}) / (22{,}42 \text{ dm}^3/\text{mol}) = 1{,}427 \text{ g/dm}^3 = 1{,}427 \text{ kg/m}^3$$

1.3. În cazul azotului aflat în condiții normale de temperatură și presiune, o moleculă suferă cu alte molecule, aproximativ într-o secundă, un număr de ciocniri $N = 10^9$. Să se calculeze în aceste condiții drumul liber mediu al moleculelor, dacă masa moleculară relativă a azotului este 28.

Rezolvare. Mișcarea moleculei între două ciocniri succesive este rectilinie și uniformă. Atunci drumul liber mediu λ este

$$\overline{\lambda} = \sqrt{\overline{v^2}} \cdot \tau \qquad (1)$$

unde τ este timpul scurs între două ciocniri succesive, iar t este timpul în care se fac N ciocniri

$$\tau = t/N \qquad (2)$$

Ca viteză de mișcare se consideră viteza termică

$$v_T = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \qquad (3)$$

Din relațiile (1), (2) și (3) se obține

$$\overline{\lambda} = \frac{t}{N}\sqrt{\frac{3RT_0}{\mu}} = \frac{1s}{10^9} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8314 \frac{J}{KmolK} \cdot 293 \text{ K}}{28 \frac{kg}{Kmol}}} = 493 \cdot 10^{-9} \text{m} = 493 \text{ nm}.$$

1.4. Un vas este prevăzut cu un perete poros ce-l separă în două compartimente egale. Inițial într-un compartiment se găsește hidrogen și în celălalt oxigen la aceeași temperatură și cu același număr de moli. În care din

compartimente, pentru un anumit timp, presiunea este mai mare, dacă se cunosc masele molare ale gazelor?

Rezolvare. Soluția are la bază fenomenul de difuziune prin pereții poroși. Viteza de difuziune este proporțională cu viteza pătratică medie.

Cum energia cinetică medie a moleculelor unui mol dintr-un gaz ideal este aceeași pentru toate gazele la aceeași temperatură, avem

$$\frac{m_{0(H2)} \cdot v^2_{T(H2)}}{2} = \frac{m_{0(O2)} \cdot v^2_{T(O2)}}{2} \qquad (1)$$

Din definiția numărului lui Avogadro avem

$$m_0 = \mu / N_A \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține

$$\frac{v_{T(H2)}}{v_{T(O2)}} = \sqrt{\frac{\mu_{(O_2)}}{\mu_{(H_2)}}} \qquad (3)$$

Cum

$$\mu = V_{\mu 0} \cdot \rho_0 \qquad (4)$$

Din relațiile (3) și (4) rezultă

$$\frac{v_{T(H2)}}{v_{T(O2)}} = \sqrt{\frac{\mu_{(O_2)}}{\mu_{(H_2)}}} = \sqrt{\frac{\rho_{O_2}}{\rho_{H_2}}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4$$

În consecință, hidrogenul difuzează mai repede decât oxigenul, astfel că în compartimentul cu oxigen numărul de molecule crește și deci crește și presiunea.

1.5. Se consideră apă lichidă cu formula moleculară H_2O în condiții normale, cu masele molare $\mu_{H2} = 2\ g \cdot mol^{-1}$ și $\mu_{O2} = 32\ g \cdot mol^{-1}$.

Dacă fiecare moleculă de apă se consideră că se află în medie în centrul unui cub, să se calculeze latura acestuia.

Rezolvare. Volumul unui mol de apă este

$$V_\mu = \mu / \rho_0 \qquad (1)$$

Într-un mol de apă avem un număr de molecule egal cu numărul lui Avogadro și deci volumul unui cub de latură l ocupat de o moleculă este

$$l^3 = V_\mu / N_A \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține

$$l^3 = \frac{\mu}{\rho_0 \cdot N_A} \Rightarrow l = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho_0 \cdot N_A}} \qquad (3)$$

Prin înlocuire cu valorile respective în relația (3), rezultă

$$l = \sqrt[3]{\frac{18\ g\cdot mol^{-1}}{1\ g\cdot cm^{-3}\cdot 6{,}023\cdot 10^{23}\ mol^{-1}}} \approx 3{,}1\cdot 10^{-8}\ cm$$

Observație. Valoarea laturii l este de același ordin de mărime ca diametrul moleculei.

1.6. Într-un recipient de formă cubică cu latura l = 10 cm, se găsește oxigen cu masa molară μ = 32 kg/kmol la temperatura T = 300 K. Să se calculeze:

a) energia cinetică medie de translație a unei molecule la temperatura de 300 K;

b) valoarea medie a pătratului vitezei ei;

c) viteza pătratică medie;

d) impulsul unei molecule de oxigen care se deplasează cu această viteză;

e) forța medie pe care o exercită o moleculă asupra pereților incintei la mișcarea dus-întors între două fețe opuse;

f) presiunea medie produsă pe perete;

g) numărul de molecule care se deplasează cu această viteză, necesar pentru a produce o presiune medie de 1 atm;

h) raportul între numărul de molecule de mai sus și numărul de molecule de oxigen din recipientul menționat, la temperatura T = 300 K și presiunea normală.

Rezolvare. a) Energia cinetică medie de translație este:

$$\bar{\varepsilon} = (3/2)KT = 3/2\cdot 1{,}38\cdot 10^{-23}\ \frac{J}{K}\cdot 300\ K = 6{,}21\cdot 10^{-21}\ J$$

b) Valoarea medie a pătratului vitezei moleculei este dată de relația:

$$\bar{v}^2 = 3RT/\mu = \frac{3\cdot 8314\ J\cdot kmol^{-1}\cdot K^{-1}\cdot 300\ K}{32\ kg\cdot Kmol^{-1}} = 233831\ m^2/s^2$$

c) Viteza pătratică medie (viteza termică) este:

$$v_T = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 483{,}56\ m/s$$

d) Impulsul unei molecule de oxigen, p = mv, unde v este viteza pătratică medie, are valoarea:

$$p = m\cdot\sqrt{\bar{v}^2} = \frac{\mu}{N_A}\cdot\sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \frac{1}{N_A}\cdot\sqrt{3RT\mu} = 2569\cdot 10^{-26}\ kg\ m/s$$

e) Forța medie se obține din legea a doua a lui Newton:

$$F_m = \Delta p/\Delta t \qquad (1)$$

Ciocnirea dintre perete și moleculă în incidență normală fiind perfect elastică, variația de impuls pentru moleculă va fi $\Delta\vec{p} = -2m\vec{v}$, iar acțiunea pe perete va corespunde variației de impuls 2mv (acțiune – reacțiune).

Δt este timpul care se scurge între două ciocniri consecutive ale moleculei cu același perete, când aceasta parcurge distanța 2l cu viteza pătratică medie, adică:

$$\Delta t = \frac{2l}{\sqrt{\overline{v^2}}} \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) rezultă:

$$F_m = \frac{m\overline{v^2}}{l} = \frac{\mu}{N_A}\cdot\frac{3RT}{\mu l} = \frac{3KT}{l} = 3\cdot(1{,}38\ JK^{-1}\cdot 300\ K)/0{,}1\ m = 1242\cdot 10^{-22}\ N$$

f) Presiunea medie (forța fiind normală la suprafață) este:

$$p_m = F_m/S = 3KT/l^3 = (3\cdot 1{,}38\cdot 10^{-23}\ JK^{-1}\cdot 300\ K)/10^{-3}\ m^3 = 1242\cdot 10^{-20}\ Nm^{-2}.$$

g) Presiunea totală pe o direcție (Ox) va fi dată de o treime din moleculele din recipient, deci:

$$p = (N/3)\,p_m \Rightarrow (a)N = 3p/p_m = (3\cdot p/3KT)\cdot l^3 =$$
$$= (3\cdot 101325\ N\cdot m^{-2}\cdot 10^{-3}\ m^3)//(3\cdot 1{,}38\cdot 10^{-23}\ JK^{-1}\cdot 300\ K) = 244{,}74\cdot 10^{20}\ \text{molecule}$$

h) Numărul de molecule din recipient pentru a produce presiunea p = 1 atm se obține din formula fundamentală a teoriei cinetico-moleculare:

$$p = \frac{2}{3}\cdot n\cdot m_0\cdot\frac{\overline{v^2}}{2} = \frac{1}{3}\cdot\frac{N'}{V}\cdot\frac{\mu}{N_A}\frac{3RT}{\mu} \Rightarrow N' = \frac{pV}{KT} \qquad (b)$$

Prinînlocuire,rezultă

$$N' = pV/KT = (101325\ Nm^{-2}\cdot 10^{-3}\ m^3)/\ (1{,}38\cdot 10^{-23}\ JK^{-1}\cdot 300\ K) =$$
$$= 244{,}74\cdot 10^{20}\ \text{molecule}$$

Într-adevăr, folosind relațiile (a) și (b) pentru N și N', prin împărțire se obține:

$$\frac{N}{N'} = \frac{3\frac{p}{p_m}}{\frac{pV}{KT}} = \frac{3KT}{Vp_m} = \frac{3KT\cdot l^3}{V\cdot 3KT} = 1 \Rightarrow N = N'.$$

1.7. Într-un rezervor se găsește oxigen la presiunea p = 0,1 atm și densitatea $\rho = 0{,}15\ kg/m^3$. Dacă $\mu = 32\ kg/kmol$, să se calculeze:

a) viteza pătratică medie a moleculelor de oxigen și temperatura la care se află;

b) energia cinetică medie a moleculei de oxigen în mișcarea de translație;
c) energia cinetică medie totală a moleculei de oxigen;
d) energia internă a gazului, dacă volumul este $V = 0,1\ m^3$.

Rezolvare. a) Din formula fundamentală a teoriei cinetico-moleculare, se obține viteza pătratică medie:

$$p = (1/3)\,\rho\bar{v}^2 \Rightarrow \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10132,5\ Nm^{-2}}{0,15\ Kgm^{-3}}} = 450,166\ m/s$$

$$\text{Cum } \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} \Rightarrow$$

$$T = p\mu/\rho R = 10132,5\ Nm^{-2} \cdot 32\ kg \cdot kmol^{-1}/(0,15\ kg \cdot m^{-3} \cdot 8314\ J \cdot kmol^{-1}K^{-1}) \approx 260\ K$$

b) Energia cinetică medie în mișcarea de translație este:

$$\bar{\varepsilon}_t = 1/2\ m_0\ \bar{v}^2 \qquad (1)$$

Viteza pătratică medie este dată de relația:

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} \qquad (2)$$

Masa moleculei de oxigen se calculează cunoscând masa molară μ:

$$m_0 = \mu/N_A \qquad (3)$$

Din relațiile (1), (2) și (3) se obține energia cinetică medie în mișcarea de translație:

$$\bar{\varepsilon}_t = \frac{3\mu p}{2N_A \cdot \rho} = \frac{3 \cdot 32\ kg \cdot kmol^{-1} \cdot 10132,5\ N \cdot m^{-2}}{2 \cdot 6,023 \cdot 10^{26}\ Kmol^{-1} \cdot 0,15\ Kg \cdot m^{-3}} \approx 53,83 \cdot 10^{-22}\ J$$

c) Molecula de oxigen este biatomică și deci mai prezintă două grade de libertate în mișcarea de rotație. Atunci, energia cinetică medie totală a moleculei de oxigen va fi:

$$\bar{\varepsilon}_c = \bar{\varepsilon}_t + \bar{\varepsilon}_{rot} = 5/3\ \bar{\varepsilon}_t$$

Ținând seama de relația de la punctul b) pentru energia cinetică medie în mișcarea de translație, rezultă:

$$\bar{\varepsilon}_c = (5/3) \cdot 3\mu \cdot p/2N_A\rho = (5/2)\,\mu p/\rho N_A =$$
$$= 5 \cdot 32\ kg \cdot kmol^{-1} \cdot 10132,5\ Nm^{-2}/(2 \cdot 0,15\ kg \cdot m^{-3} \cdot 6,023 \cdot 10^{26}\ kmol^{-1}) \approx 89,722 \cdot 10^{-22}\ J$$

d) Energia internă a gazului este energia cinetică medie a tuturor moleculelor de oxigen din incintă:

$$U = N \cdot \bar{\varepsilon}_0 = (5/2)\ pV = 5 \cdot 10132,5\ N \cdot m^{-2} \cdot 0,1\ m^3/2 = 2533,125\ J$$

1.8. Să se calculeze concentrația moleculară în cazul unui vid înaintat cu presiunea 10^{-10} torr și temperatura T = 300 K.

Rezolvare. Se folosește formula fundamentală:

$$p = (1/3)\, n\, m_0\, \overline{v}^2 \qquad (1)$$

și relațiile:

$$\overline{v}^2 = 3RT/\mu \qquad (2)$$

$$m_0 = \mu/N_A \qquad (3)$$

Din cele trei relații se obține:

$$p = \frac{nR}{N_A}\cdot T = nKT \Rightarrow n = \frac{p}{KT} \qquad (4)$$

Se știe că 1 atm = 760 torr. În consecință, presiunea p va fi:

$$p = 10^{-10}\ \text{torr} = (10^{-10}/\,760)\cdot 1\ \text{atm} = 10^{-10}\cdot 101325/\,760 = 133{,}32\cdot 10^{-10}\ \text{N/m}^2$$

Prin înlocuire în relația (4), rezultă:

$$n = \frac{133{,}32\cdot 10^{-10}\ \text{Nm}^{-2}}{1{,}38\cdot 10^{-23}\ \text{JK}^{-1}\cdot 300\ \text{K}} = 32{,}20\cdot 10^{11}\ \text{molecule m}^{-3}$$

1.9. Să se calculeze masa moleculei de dioxid de carbon, densitatea absolută și relativă și numărul de moli în masa m = 4,4 g CO_2. Ce volum în condiții normale îi corespunde masei? (ρ_0 = 1,293 g/l)

1.10. Se amestecă m_1 = 4 g hidrogen cu m_2 = 8 g oxigen într-un volum V = 20 l. Să se calculeze: a) numărul total de molecule; b) compoziția procentuală; c) densitatea medie a amestecului.

Masa moleculară relativă a hidrogenului este 2 și a oxigenului este 32.

1.11. Să se afle volumul V_0 și diametrul d al atomilor de mercur, considerând atomii sfere rigide. Densitatea relativă a mercurului este 13,6. Care este viteza pătratică medie a unei molecule de vapori de mercur la T = 300 K? (m_r = 201).

1.12. Diametrul moleculelor unui gaz este $d = 10^{-10}$ m. Să se calculeze ce procent din volumul gazului în condiții normale este ocupat de moleculele gazului.

1.13. Într-un rezervor de volum V = 0,02 m^3 se găsește metan (CH_4) cu un număr de molecule $N = 6{,}023\cdot 10^9$. Viteza pătratică medie este $\sqrt{\overline{v}^2}$ = 683,8 m/s. Să se calculeze:

a) masa moleculei de metan;
b) energia cinetică medie de translație a moleculei de metan;
c) energia cinetică medie a moleculei de metan și energia internă a gazului;
d) presiunea exercitată de gaz, exprimată în torr;

e) temperatura gazului și masa sa.

1.14. Cum variază energia cinetică medie și viteza pătratică medie a moleculelor unui gaz la încălzirea de la temperatura absolută T la temperatura absolută $2T$?

1.15. În dispozitivul din figura 3 se introduce în unul din baloane He și în celălalt dioxid de carbon. Cele două gaze sunt despărțite printr-o picătură de mercur. Prin rezistențele de încălzire R, identice și legate în serie, se trece un curent electric. În ce sens se va deplasa picătura de mercur în primul moment?

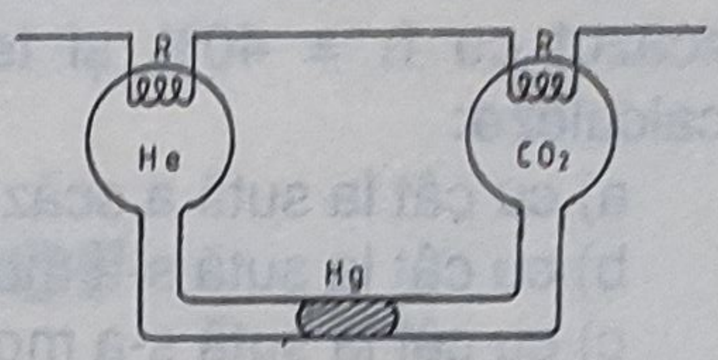


Fig. 3.

1.16. Bromura de amoniu disociază la încălzire în amoniac și acid bromhidric, iar la răcire are loc recombinarea conform ecuației:

$$NH_4Br \rightleftarrows NH_3 + HBr$$

Ce se întâmplă dacă încălzirea bromurii de amoniu se face într-un compartiment al unui recipient despărțit în două printr-un perete poros? (Masele atomice sunt: H = 1; N = 14; Br = 80.)

1.17. Într-un cilindru cu gaz se deplasează un piston cu viteza u = 2 m/s, în sensul comprimării gazului. Cu cât la sută va crește energia cinetică a unei molecule de masă m și viteză v = 500 m/s, dacă ciocnirea cu pistonul este frontală și perfect elastică? Cum se manifestă această creștere de energie pentru întreaga masă a gazului?

1.18. Un fascicul de molecule incident pe un perete, se reflectă conform legilor ciocnirii perfect elastice. Să se determine presiunea p a fasciculului pe perete, dacă viteza moleculelor face un unghi α cu normala la perete. Masa moleculei este m, viteza v și numărul de molecule din unitatea de volum, n. Să se studieze cazurile:

a) peretele este imobil;

b) peretele se deplasează în direcția normalei sale cu viteza u.

1.19. La temperatura de 0°C și presiunea p, drumul liber mediu al moleculelor de oxigen este $\lambda_1 = 9{,}5 \cdot 10^{-8}$ m. Să se calculeze numărul mediu de ciocniri pe secundă ale moleculelor de oxigen, dacă presiunea din recipient se micșorează de n = 100 ori și temperatura rămâne constantă.

1.20. Un vas ce conține o cantitate oarecare de gaz se mișcă cu viteza v și se oprește brusc. Cu cât se va mări media pătratelor vitezelor: a) în cazul unui gaz monoatomic? b) în cazul unui gaz biatomic? Ce sens fizic are rezultatul obținut?

1.21. Un gaz ideal biatomic, aflat într-o incintă la presiunea $p_0 = 1$ atm, are masa m = 10 g și densitatea $\rho_0 = 1{,}25$ kg/m^3. Să se afle:

a) energia internă a gazului;

b) viteza pătratică medie a moleculelor în mișcarea de translație;
c) masa molară a gazului;
d) masa moleculei gazului respectiv;
e) energia moleculei.

1.22. Un vas închis conține un gaz ideal. La deschiderea lui, presiunea a scăzut cu $f_1 = 40\%$ și temperatura absolută a scăzut cu $f_2 = 10\%$. Să se calculeze:

a) cu cât la sută a scăzut masa gazului din vas;
b) cu cât la sută s-a modificat energia cinetică medie moleculară;
c) cu cât la sută s-a modificat energia internă a gazului.

1.23. Apa are formula moleculară H_2O. Să se calculeze:

a) masa unei molecule de apă;
b) volumul molar al ei;
c) numărul de molecule și de moli din masa de apă $m = 20$ g;
d) energia internă a vaporilor de apă, la temperatura $t = 100°C$, cu masa $m = 20$ g;
e) câte molecule revin suprafeței de 1 cm^2, la distribuirea uniformă a moleculelor pe o suprafață dată.

1.24. O cantitate de oxigen gazos, la temperatura $t = 0°C$ și presiunea normală, este închisă într-un vas cubic cu latura $l = 10$ cm. Să se compare variația energiei potențiale gravitaționale pentru o moleculă care cade pe înălțimea cutiei, cu energia sa cinetică medie moleculară. Câte molecule sunt în vas?

1.25. Un atom de hidrogen poate fi excitat dacă primește energie cel puțin egală cu 10,2 eV. În stare excitată, atomul are o viață foarte scurtă și prin dezexcitare emite o radiație luminoasă. La ce temperatură trebuie încălzit un gaz ca, prin ciocniri inelastice, să poată excita atomi de hidrogen?

2. Legile gazelor

Considerații teoretice

Volumul *V*, ocupat de o anumită masă de gaz, depinde de presiunea *p* la care este supus gazul și de temperatura *T*. Pentru orice substanță pură există o relație definită între aceste mărimi, numită *ecuație de stare* a substanței. Matematic, se poate scrie:

$$f(p, V, T, m) = 0 \qquad (1)$$

Forma funcției se simplifică dacă se cunosc numai mărimile ce se modifică, restul rămânând constante. Cele patru mărimi ce caracterizează sistemul gazos se numesc *parametrii de stare* ai sistemului. Termenul *stare* implică starea de echilibru. Aceasta înseamnă că temperatura și presiunea au aceleași valori în toate punctele. În locul masei *m* se poate exprima cantitatea de gaz prin numărul de moli ν, unde:

$$m = \nu \mu \qquad (2)$$

În cazul când doi dintre parametri variază, transformarea suferită de gaz este o transformare simplă, având la bază legile transformărilor simple. Când variază trei parametri, transformarea este generală. Gazul care respectă strict toate legile pentru toate presiunile și temperaturile se numește *gaz ideal*. Gazul ideal este un model. Gazele reale se comportă ca un gaz ideal la presiuni joase și la temperaturi nu prea apropiate de acelea la care gazul se lichefiază.

Legea Boyle-Mariotte exprimă transformarea unei mase de gaz la temperatură constantă, numită transformare *izotermă*.

Matematic, se descrie prin relația:

$$p_1V_1 = p_2V_2 = \ldots = p_nV_n = pV = \text{const.} \ (\text{cu } m = \text{const}, t = \text{const.}) \qquad (3)$$

Presiunea unei mase de gaz la temperatură constantă variază invers proporțional cu volumul său.

În sistemul de axe p-V, numit *sistem termodinamic*, legea se reprezintă printr-o ramură de hiperbolă echilateră, numită *izoterma gazului*. (fig.4)

Legea Gay-Lussac descrie transformarea unei mase de gaz la presiune constantă, numită transformare *izobară*.

Matematic, se scrie:

$$V = V_0 (1 + \alpha_v t), \text{ pentru } m = \text{const. și } p = \text{const.}, \text{ unde} \quad (4)$$

V_0 = volumul gazului la 0°C

$\alpha_v = 1/273{,}15\ K^{-1}$.

Reprezentarea grafică a legii se vede în figura 5.

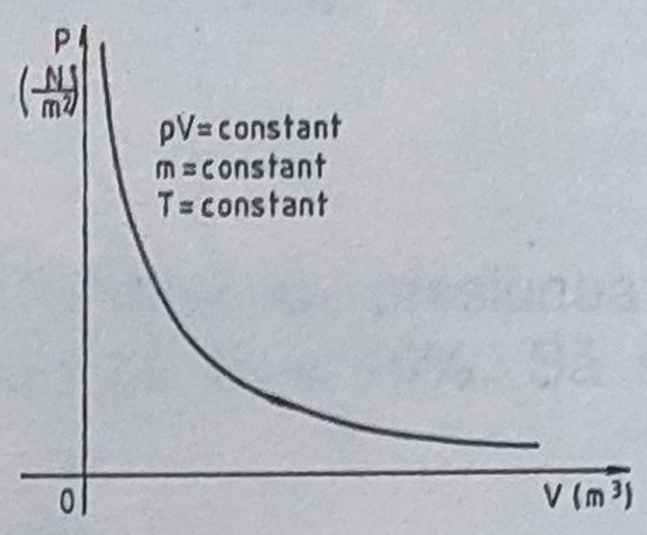


Fig. 4.

Dacă se folosește scara absolută de temperaturi (Kelvin) (figura 6),

$$T = T_0 + t, \quad (5)$$

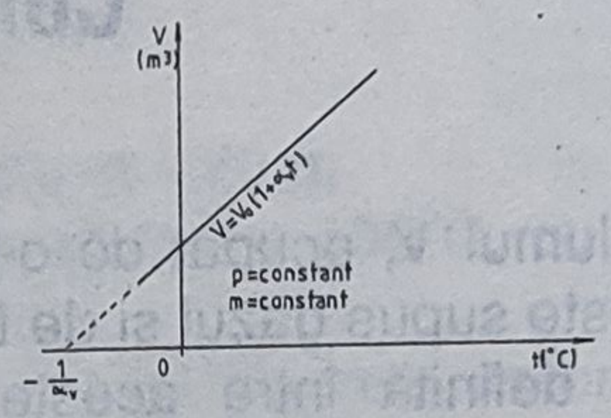


Fig. 5.

legea se mai poate scrie:

$$V/T = V_0/T_0 \Rightarrow V = V_0 \cdot (T/T_0) \quad (6)$$

pentru p = const. și m = const.

Legea se enunță astfel:

Volumul unei mase de gaz la presiune constantă variază liniar cu temperatura.

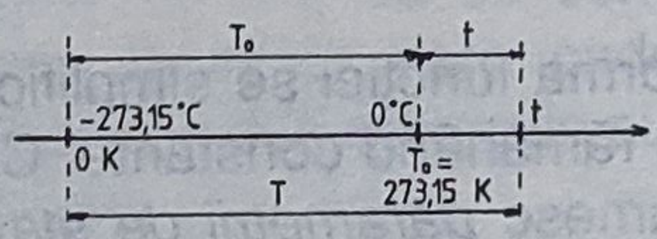


Fig. 6.

Reprezentarea grafică în sistemul termodinamic se vede în figura 7.

Legea lui Charles descrie variația presiunii unei mase de gaz la volum constant, numită și transformare izocoră.

$$p = p_0 (1 + \alpha_p t);\ V = \text{const. și } m = \text{const.} \quad (7)$$

p_0 = presiunea la 0°C

$\alpha_p = \alpha_v = 1/273{,}15\ K^{-1}$

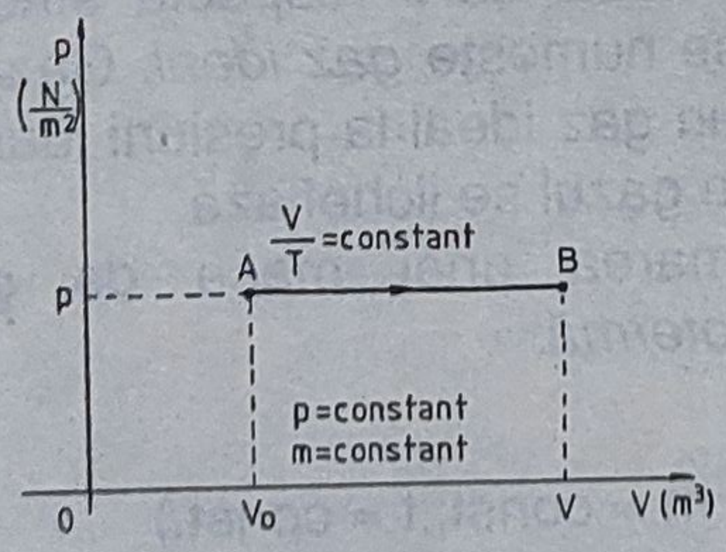


Fig. 7.

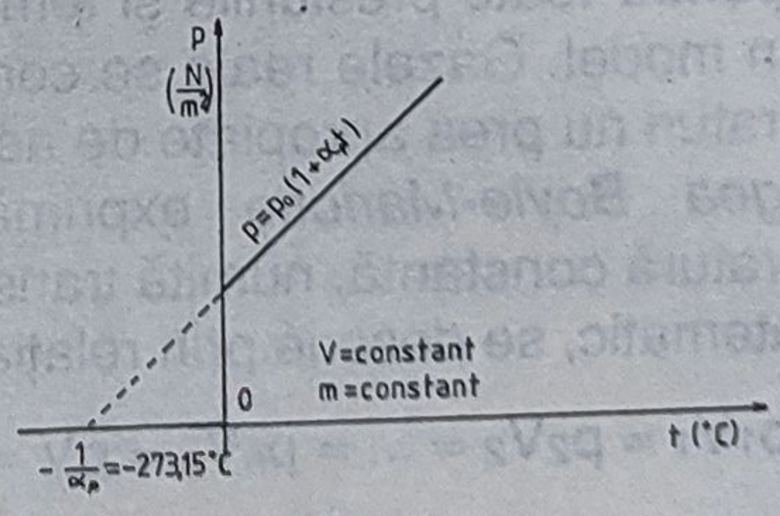


Fig. 8.

În diagrama p, t, legea se reprezintă printr-o dreaptă care taie axa Ot la temperatura $-1/\alpha_p = -273{,}15°C$, ca în figura 8.

Folosind scara Kelvin, legea se exprimă prin relația:

$$p/T = p_0/T_0 \Rightarrow p = p_0 \cdot T/T_0 \qquad (8)$$

și se enunță astfel:

Presiunea unei mase de gaz la volum constant variază liniar cu temperatura.

Reprezentările grafice se văd în figurile 9 și 10.

Transformarea generală a unei mase de gaz ideal se exprimă prin relațiile:

$$pV = p_0V_0 (1 + \alpha t)$$

$$pV/T = p_0V_0/T_0 = \text{const.} \qquad (9)$$

pentru m = const.

Legea lui Avogadro. Volume egale de gaze diferite, aflate la aceeași presiune și temperatură, cuprind același număr de molecule.

Sau: *Volumul molar al gazelor este același pentru toate gazele în aceleași condiții de temperatură și presiune.*

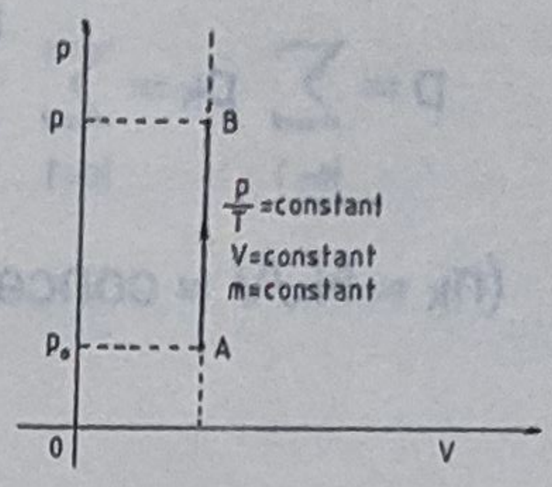


Fig. 9.

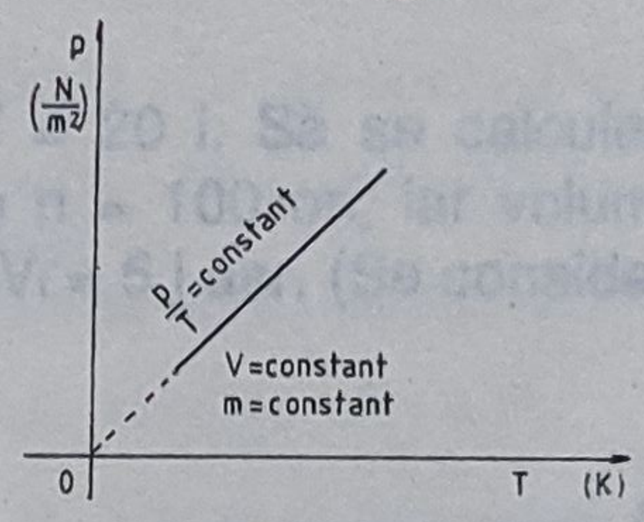


Fig. 10.

Ecuația de stare a gazului ideal (ecuația termică de stare):

$$pV = \nu RT = (m/\mu) \cdot RT = NKT \text{ cu } \nu = m/\mu = V/V_\mu = N/N_A$$

unde:

ν este cantitatea de gaz (moli),

m – masa gazului (kg)

μ – masa molară (g/mol)

V_μ – volumul molar la aceeași presiune și aceeași temperatură ca și V (m^3/mol)

N – numărul de particule componente (molecule) din gaz

$N_A = 6{,}02217 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}, numit numărul lui Avogadro

R – constanta universală a gazelor

$$R = p_0V_{\mu 0}/T_0 = 101325 \text{ Nm}^{-2} \cdot 22{,}42 \text{ m}^3\text{kmol}^{-1} / 273{,}15 \text{ K} = 8314 \text{ J/kmol·K} =$$
$$= 0{,}082056 \text{ l·atm/mol·K}$$

Densitatea gazelor variază direct proporțional cu presiunea și invers proporțional cu temperatura absolută.

$\rho = \mu p/RT = \rho_0 \cdot (pT_0/p_0T)$, unde ρ_0 = densitatea în condiții normale (0°C, 1 atm).

Legea lui Dalton. Presiunea unui amestec de gaze și vapori (ce nu reacționează chimic) este egală cu suma presiunilor parțiale ale gazelor

componente. Se numește *presiune parțială* a unui component presiunea pe care ar exercita-o acel component dacă ar ocupa singur întregul volum la aceeași temperatură.

$$p = \sum_{k=1}^{n} p_k = \sum_{k=1}^{n} \frac{m_k}{\mu_k} \cdot \frac{RT}{V} = \sum_{k=1}^{n} \nu_k \frac{RT}{V} = \sum_{k=1}^{n} n_k \cdot RT$$

($n_k = N_k/V$ = concentrații moleculare ale componenților)

Legile gazelor

Aplicații

2.1. Camera roții unui autovehicul are volumul V = 20 l. Să se calculeze presiunea aerului din cameră dacă se pompează de n = 100 ori, iar volumul pompei este v = 300 cm^3. Inițial, în cameră se găsesc V_i = 5 l aer. (Se consideră presiunea atmosferică normală.)

Rezolvare. Se aplică legea Boyle-Mariotte:

$$p_0V_0 = pV \quad (1)$$

unde

$$V_0 = V_i + nv \quad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$p_0(V_i + v \cdot n) = pV$$

Prin înlocuire cu volumul în litri, se obține:

$$1 \text{ atm } (5 + 300 \cdot 100/1000) = 20p \Rightarrow p = 1{,}75 \text{ atm}$$

2.2. Se consideră un tub cilindric de sticlă, închis la unul din capete. În el se găsesc o coloană de aer și o coloană de mercur, cu înălțimea *h*, ce delimitează coloana de aer. Facem cu acest tub două determinări: a) când întoarcem tubul vertical, cu capătul deschis în sus, lungimea coloanei de aer este l_1 cm; b) când întoarcem tubul tot vertical, cu capătul deschis în jos, lungimea coloanei de aer devine l_2 cm (fig.11 a și b).

Să se calculeze presiunea atmosferică H în coloană de mercur.

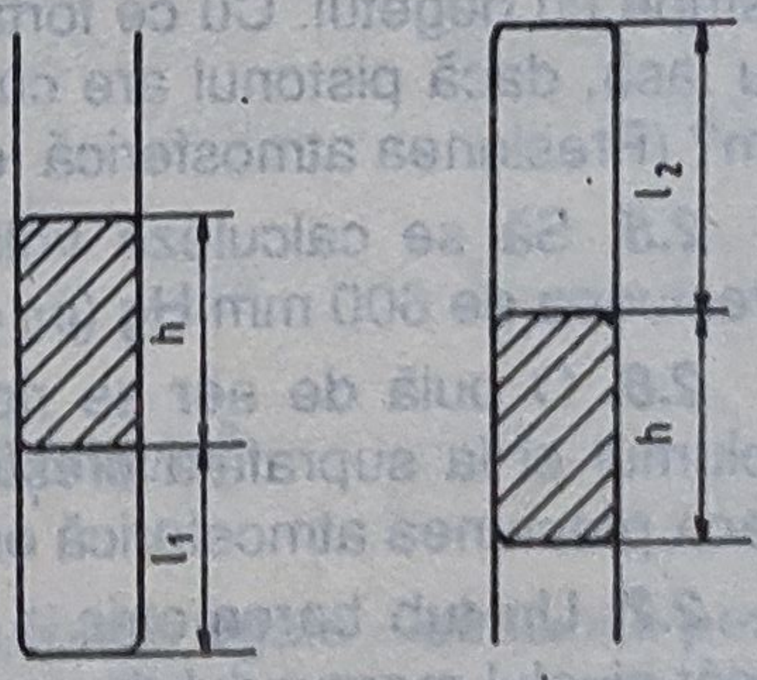


Fig. 11 a și b.

Aplicație. h = 10 cm; l_1 = 6 cm; l_2 = 7,5 cm.

Rezolvare. Aplicând legea Boyle-Mariotte

pentru cele două stări ale gazului din tub, avem:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \qquad (1)$$

Sau, înlocuind volumele V_1 și V_2 cu datele problemei:

$V_1 = A \cdot l_1$; $V_2 = A \cdot l_2$, relația (1) devine:

$$p_1 \cdot A \cdot l_1 = p_2 \cdot A \cdot l_2 \text{ sau } p_1 \cdot l_1 = p_2 \cdot l_2 \qquad (2)$$

Aplicând condiția de echilibru între presiuni, se obține pentru cele două stări:

$$p_1 = H + h \qquad (a)$$

$$p_2 = H - h \qquad (b)$$

Înlocuind valorile presiunilor în relația (2), avem:

$$(H + h)l_1 = (H - h)l_2 \qquad (3)$$

Din relația (3) putem determina presiunea atmosferică:

$$H = h(l_1 + l_2)/(l_2 - l_1) \text{ [cm Hg]} \qquad (4)$$

Înlocuind în relația (4) valorile numerice, rezultă:

$$H = 10(6 + 7,5)/(7,5 - 6) = 90 \text{ cm Hg}$$

2.3. Două baloane comunică printr-un tub cu un robinet R (fig.12). Balonul A are volumul de 2 l și este gol, iar balonul B are volumul de 5 l și cuprinde aer la presiunea de 1,5 atm.

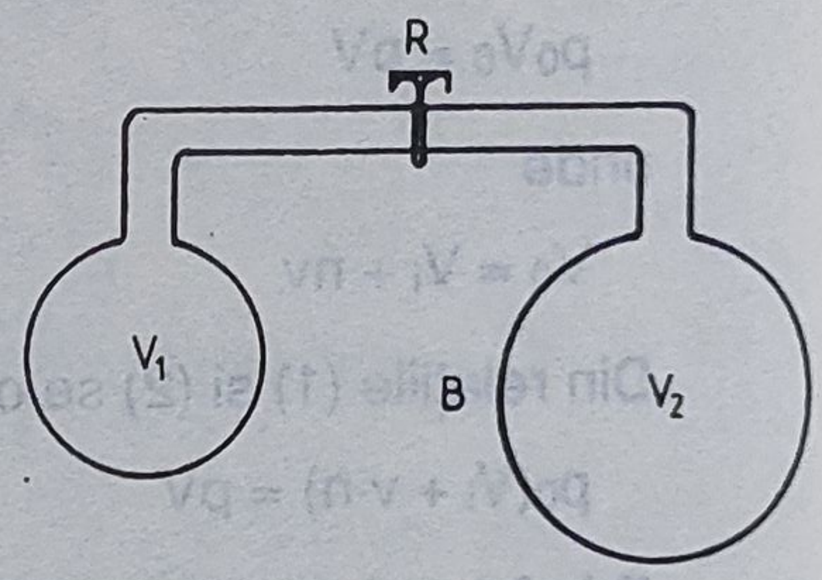


Fig. 12.

Punând baloanele în legătură cu ajutorul robinetului R, să se calculeze presiunea finală a gazului.

2.4. Capătul deschis al unei pompe de bicicletă are diametrul de 4 mm și se astupă cu degetul. Cu ce forță trebuie să apăsăm pentru ca aerul din pompă să nu iasă, dacă pistonul are cursa de 42 cm și se deplasează pe distanța de 40 cm? (Presiunea atmosferică este de 76 cm Hg.)

2.5. Să se calculeze volumul ocupat de o masă de aer de 6,465 kg la presiunea de 600 mm Hg ($\rho_0 = 1,293$ g/l).

2.6. O bulă de aer se ridică de pe fundul unui bazin cu apă, astfel încât volumul ei la suprafață crește cu o cincime. Ce adâncime are apa din bazin, dacă presiunea atmosferică este de 760 mm Hg?

2.7. Un tub barometric a fost introdus într-un vas adânc cu mercur, astfel încât nivelul mercurului din vas să coincidă cu cel din tub. În acest caz, aerul din tub formează o coloană lungă de l cm. Tubul s-a ridicat cu l' cm. Cu câți centimetri s-a ridicat mercurul din tub? (Presiunea atmosferică este de H cm Hg).

2.8. Un tub Torricelli, în echilibru pe o chiuvetă adâncă, cuprinde 10 cm^3 de aer, iar coloana de mercur în tub este de 25 cm față de mercurul din chiuvetă. Se ridică tubul până când volumul de aer devine 40 cm^3 și diferența nivelului mercurului din tub față de cel din chiuvetă a devenit 62,5 cm. Care este înălțimea barometrică (presiunea atmosferică H) a mercurului la începutul experienței?

2.9. Într-un cilindru cu volumul V = 25 l se găsește hidrogen la presiunea p = = 80 atm și temperatura de 27°C. Să se calculeze:

a) masa hidrogenului; b) numărul de moli și de molecule; c) densitatea gazului din cilindru. (μ_{H2} = 2 g/mol, $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ mol^{-1})

Rezolvare. a) Din ecuația de stare se obține masa *m*..

$$pV = \frac{m}{\mu} \cdot RT \Rightarrow m = \frac{\mu pV}{RT} \qquad (1)$$

Prin înlocuirea valorilor numerice în relația (1), rezultă:

$$m = \frac{2\,kg \cdot kmol^{-1} \cdot 80 \cdot 101325\ Nm^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-3}\ m^3}{8314J\ kmol^{-1}K^{-1} \cdot 300\ K} = 0{,}162\ kg.$$

b) Numărul de moli se calculează tot din ecuația de stare:

$$pV = \nu RT \Rightarrow \nu = pV/RT \qquad (2)$$

Prin substituția valorilor numerice în relația (2), obținem:

$$\nu = \frac{80 \cdot 101325\ Nm^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-3}\ m^3}{8314J\ kmol^{-1}\ K^{-1} \cdot 300\ K} = 81{,}25\ moli$$

Numărul de molecule rezultă din relația:

$$\nu = N/N_A \Rightarrow N = \nu\, N_A = 81{,}25\ moli \cdot 6{,}022 \cdot 10^{23}\ mol^{-1} = 48929 \cdot 10^{21}$$

c) În ecuația de stare se înlocuiește masa:

$$m = V\rho$$

și rezultă:

$$\rho = \frac{\mu p}{RT} = \frac{2\ kg \cdot kmol^{-1} \cdot 80 \cdot 101325\ Nm^{-2}}{8314J\ Kmol^{-1}K^{-1} \cdot 300\ K} \approx 6{,}5\ kg/m^3.$$

2.10. La extremitățile pârghiei unei balanțe cu brațe egale -- sensibilă pentru mase de ordinul miligramelor -- sunt atârnate două cuburi: primul are latura l_1 = 3 cm și densitatea ρ_1 = 4,88 g/cm^3, iar celălalt are latura l_2 = 5 cm și densitatea ρ_2 = 1,055 g/cm^3.

a) Pârghia balanței este orizontală? Se poate realiza această poziție deplasând de-a lungul pârghiei unul din cuburi? Pe care braț? În ce raport sunt brațele?

b) Se introduce balanța sub clopotul unei mașini pneumatice care cuprinde bioxid de carbon în condiții normale. Făcând vid parțial, pârghia ajunge la orizontală. Care este presiunea de sub clopot?

c) Se poate aduce pârghia în poziție orizontală schimbând temperatura bioxidului de carbon, presiunea rămânând cea normală? Care va fi temperatura, fără a se ține seama de dilatația cuburilor? (ρ_{aer} = 1,293 g/l în condiții normale).

Rezolvare. a) Se pune condiția de echilibru pentru balanța sub sarcină (fig.13):

$$\vec{m}_{1(3)} + \vec{m}_{2(5)} = 0$$

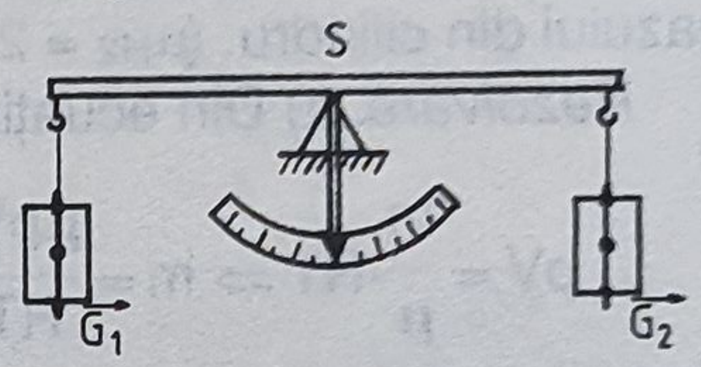


Fig. 13.

Forțele ce acționează la capetele pârghiei sunt greutățile cuburilor și forțele arhimedice.

Pentru cubul 1:

$$F_1 = G_1 - F_{A1} = m_1 g - \frac{m_1}{\rho_1}\cdot\rho_{aer} g = m_1 g\left(1 - \frac{\rho_{aer}}{\rho_1}\right) = l_1^3\rho_1\left(1 - \frac{\rho_{aer}}{\rho_1}\right)g \qquad (1)$$

Analog, pentru cubul 2:

$$F_2 = G_2 - F_{A2} = m_2 g - \frac{m_2}{\rho_2}\cdot\rho_{aer} g = m_2 g\left(1 - \frac{\rho_{aer}}{\rho_2}\right) = l_2^3\rho_2\left(1 - \frac{\rho_{aer}}{\rho_2}\right)g \qquad (2)$$

Înlocuind valorile numerice pentru masele aparente, se găsesc:

$m_{1\ ap.}$ = 131,725 g; $m_{2\ ap.}$ = 131,713 g.

Balanța fiind sensibilă pentru mase de ordinul miligramelor, ea se va înclina de partea cubului mic. Pentru stabilirea echilibrului balanței trebuie să apropiem cubul mic de punctul de sprijin S.

Din condiția de echilibru rezultă că raportul maselor aparente este egal cu raportul invers al brațelor:

$$m_{a1}/m_{a2} = l/(l - x) \Rightarrow x = \frac{m_{a_1} - m_{a_2}}{m_{a_1}}\cdot l \approx \frac{1}{10000}\cdot l \quad (l = \text{lungimea brațului})$$

b) Pârghia devine orizontală pentru brațe egale atunci când masele aparente sunt egale, adică:

$$m_1\left(1 - \frac{\rho_{CO_2}}{\rho_1}\right) = m_2\left(1 - \frac{\rho_{CO_2}}{\rho_2}\right) \qquad (3)$$

Cum $m_1 = V_1\rho_1 = l_1^3\cdot\rho_1$ și $m_2 = l_2^3\cdot\rho_2$, din relația (3) prelucrată obținem:

$$\rho_{CO_2} = (l_1^3 \cdot \rho_1 - l_2^3 \cdot \rho_2) / (l_1^3 - l_2^3) \quad (4)$$

Înlocuind valorile numerice în relația (4), rezultă:

$$\rho_{CO_2} = (131{,}875 - 131{,}860) / (125 - 27) = 0{,}001173 \text{ g/cm}^3 = 1{,}173 \text{ g/l}$$

Întrucât densitatea variază cu presiunea și temperatura:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{pT_0}{p_0 T} \text{ și } T = T_0 \Rightarrow \rho = \rho_0 \cdot \frac{p}{p_0} = \frac{\mu}{V_{\mu 0}} \cdot \frac{p}{p_0} \quad (5)$$

din relația (5) se obține presiunea:

$$p = \frac{\rho_{CO_2} \cdot V_{\mu 0} p_0}{\mu_{CO_2}} = \frac{1{,}173 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \cdot 22{,}42 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 76 \text{ cm Hg}}{44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 45 \text{ cm Hg}$$

c) Dacă în loc să micșorăm presiunea, schimbăm temperatura, calcularea presiunii se face ținând seama de variația densității cu temperatura:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} = \frac{\mu}{V_{\mu 0}} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \Rightarrow t = \frac{\frac{\mu}{V_{\mu 0}} - \rho}{\rho_\alpha} \quad (6)$$

Prin înlocuire cu valorile numerice în relația (6), temperatura este:

$$t = \frac{\frac{44 \text{g mol}^{-1}}{22{,}42 \text{l mol}^{-1}} - 1{,}173 \text{g l}^{-1}}{\frac{1}{273} \text{grd}^{-1} \cdot 1{,}173 \text{g l}^{-1}} = 187^\circ\text{C}$$

2.11. O masă de azot m = 10 g, închisă într-un cilindru cu piston, trece din starea cu $p_1 = 1{,}00$ atm și $V_1 = 8{,}00$ l în starea cu $p_2 = 3{,}00$ atm și $V_2 = 4{,}00$ l prin încălzire sau răcire și comprimare adecvată, în așa fel ca presiunea să varieze liniar cu volumul (fig.14). Ce temperatură maximă atinge gazul în timpul transformării și care sunt parametrii p și V în acea stare?

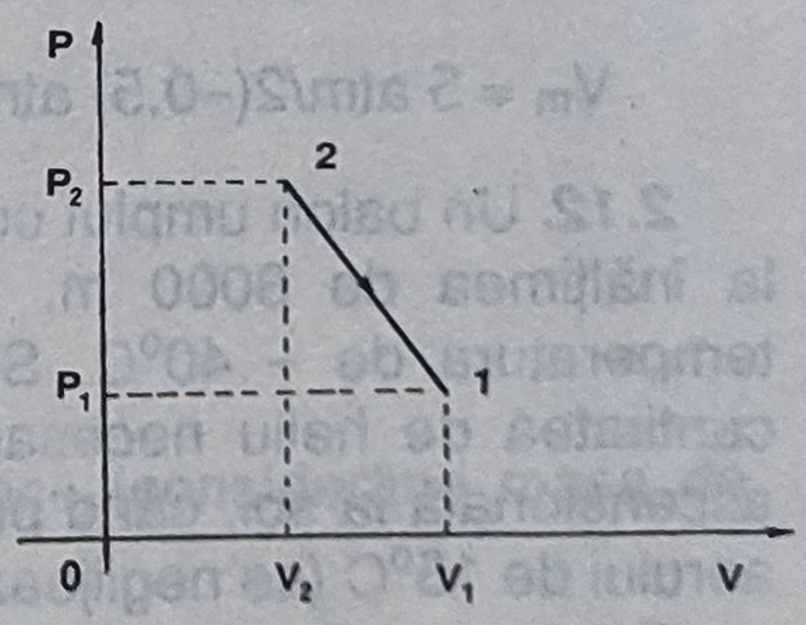


Fig. 14.

Rezolvare. Deoarece presiunea variază liniar cu volumul, putem scrie:

$$p = aV + b \quad (1)$$

Pentru cele două stări, relația (1) se poate scrie:

$$p_1 = aV_1 + b;\ p_2 = aV_2 + b \quad (2)$$

Din relațiile (2) se pot calcula constantele a și b:

$$a = (p_2 - p_1)/(V_2 - V_1) = (3 - 1)/(4 - 8)\ \text{atm/l} = -0{,}5\ \text{atm/l}$$

$$b = (V_2p_1 - V_1p_2)/(V_2 - V_1) = (4\cdot 1 - 8\cdot 3)/(4 - 8)\ \text{atm} = 5\ \text{atm}$$

Din ecuația de stare:

$$pV = \frac{\dot{m}}{\mu}\cdot RT \qquad (3)$$

și folosind relația (1), se obține ecuația temperaturii funcție de volum:

$$T = \frac{\mu pV}{mR} = \frac{\mu}{mR}(aV^2 + bV) \qquad (4)$$

Se observă că temperatura variază parabolic funcție de volum. Temperatura atinge un extrem (maxim) când derivata funcției (4) se anulează, adică:

$$T'(V) = \frac{\mu}{mR}(2aV + b) = 0 \Rightarrow V = V_m = -b/2a;\ p_{max} = aV_{max} + b = b/2 \qquad (5)$$

Folosind relațiile (4) și (5), rezultă:

$$T = \frac{\mu p_m V_m}{mR} = -\frac{\mu b}{2mR}\cdot\frac{b}{2a} = -\frac{\mu b^2}{4mRa}$$

Înlocuind cu valorile numerice, se obține:

$$T = -\frac{28\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot 25\ \text{atm}^2}{4\cdot 10\ \text{g}\cdot 0{,}082\ \text{l}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\ (-0{,}5\ \text{atm}\cdot\text{l}^{-1})} = 427\ \text{K} = 154^\circ\text{C}$$

$$V_m = 5\ \text{atm}/2(-0{,}5)\ \text{atm}\cdot\text{l}^{-1} = 5\ \text{l};\ p_m = 5\ \text{atm}/2 = 2{,}5\ \text{atm}$$

2.12. Un balon umplut cu heliu trebuie să aibă forța ascensională de 29400N la înălțimea de 8000 m, unde presiunea atmosferică este de 0,35 at, iar temperatura de – 40°C. Se cer: a) volumul balonului la această înălțime și cantitatea de heliu necesară pentru încărcarea balonului; b) volumul și forța ascensională la sol, când presiunea atmosferică este de 1 atm, iar temperatura aerului de 15°C (se neglijează greutatea învelișului balonului).

Rezolvare. Forța ascensională (F_a) a balonului se calculează cu formula:

$$G_a - G_{He} = F_a \Rightarrow (m_a - m_{He})\,g = F_a \qquad (1)$$

unde G_a este greutatea volumului V de aer, G_{He} este greutatea aceluiași volum de heliu, m_a, m_{He} masele corespunzătoare, iar g este accelerația gravitațională. Vor trebui calculate m_a și m_{He}. Se consideră că accelerația gravitațională nu diferă la 8000 m față de suprafața Pământului.

a) Notând cu m masa gazului și cu M masa sa molară, ecuația gazelor perfecte se scrie:

$$pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow m = \frac{pV}{RT} M \qquad (2)$$

unde:

$p = 0{,}35$ at $= 0{,}35 \cdot 9{,}8 \cdot 10^4$ N/m^2 $= 3{,}43 \cdot 10^4$ N/m^2

$M_a = 28{,}95$ (aer)

$M_{He} = 4$ (heliu)

$T = 273 - 40 = 233$ K

$R = 8{,}314$ J/mol·K

Scriind ecuația (2) pentru aer, apoi pentru heliu și împărțind membru cu membru aceste două relații, se obține:

$$\frac{m_a}{m_{He}} = \frac{M_a}{M_{He}} \Rightarrow m_a = \frac{M_a}{M_{He}} \cdot m_{He} \qquad (3)$$

Ecuațiile (1) și (3) formează un sistem de două ecuații cu două necunoscute (m_a, m_{He}). Înlocuind valoarea lui m_a din (3) în (1), se obține:

$$m_{He} = \frac{F_a}{\left(\frac{M_a}{M_{He}} - 1\right) g} = \frac{29400}{\left(\frac{28{,}95}{4} - 1\right) 9{,}8} \approx 480 \text{ kg}$$

Volumul balonului se calculează din (2):

$$V = \frac{m_{He}\, T}{M_{He}\, p} \cdot R = \frac{480}{4} \cdot \frac{233}{3{,}43 \cdot 10^4} \cdot \frac{8314}{4} \approx 1695 \text{ m}^3$$

b) La suprafața Pământului avem:

$p = 1$ at $= 9{,}8 \cdot 10^4$ N/m^2

$T = 273 + 15 = 288$ K

Scoțând pe V din (2) și înlocuind valorile numerice (considerând masa de heliu de la a)), se obține:

$V = m_{He}RT/(p \cdot M_{He}) = (480/(9{,}8 \cdot 10^4)) \cdot (8314/4) \cdot (288/4) \approx 735$ m^3

Forța ascensională se calculează din (1), unde masa aerului (m_a) se determină din (3):

$m_a = (28{,}95/4) \cdot 480 = 3480$ kg

Din (1) se obține:

$F_a = (3480 - 480)\ 9{,}8 = 3000 \cdot 9{,}8 = 29400$ N.

Rezultă că, în aceste condiții, forța ascensională rămâne aceeași.

2.13. Într-un cilindru se găsesc 10 dm^3 de gaz la temperatura de 10°C. Presiunea gazului este menținută constantă de greutatea pistonului mobil care închide etanș cilindrul (fig.15). Care va fi volumul ocupat de gaz, dacă acesta este încălzit până la 210°C? Care este cantitatea de gaz dacă G = 20 N, presiunea atmosferică 10^5 N/m^2 și secțiunea cilindrului S = = 100 cm^2?

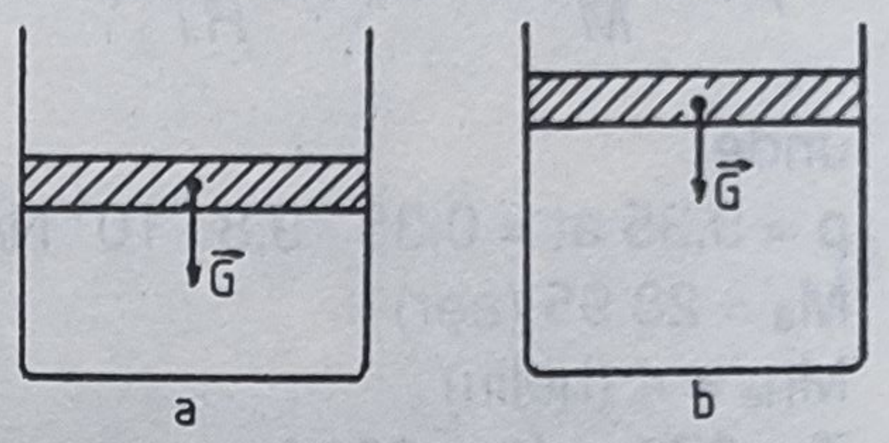


Fig. 15.

2.14. Manometrul cu mercur, închis, al unei etuve arată presiunea zero (diferența de nivel a mercurului este zero) în starea tehnică normală (t = 20°C și p = = 760 torr), în acest caz înălțimea coloanei de aer fiind de 900 mm (fig.16). Capătul închis este plin cu aer, iar celălalt se leagă la o etuvă. Care este presiunea din etuvă când înălțimea coloanei de aer este de 540 mm, temperatura aerului de 40°C, denivelarea mercurului de 400 mm, iar înălțimea coloanei de apă condensată deasupra mercurului de 800 mm? (Se neglijează variația densității cu temperatura.) Dar când se ține seama de variația densității cu temperatura, ce presiune în at este în etuvă?

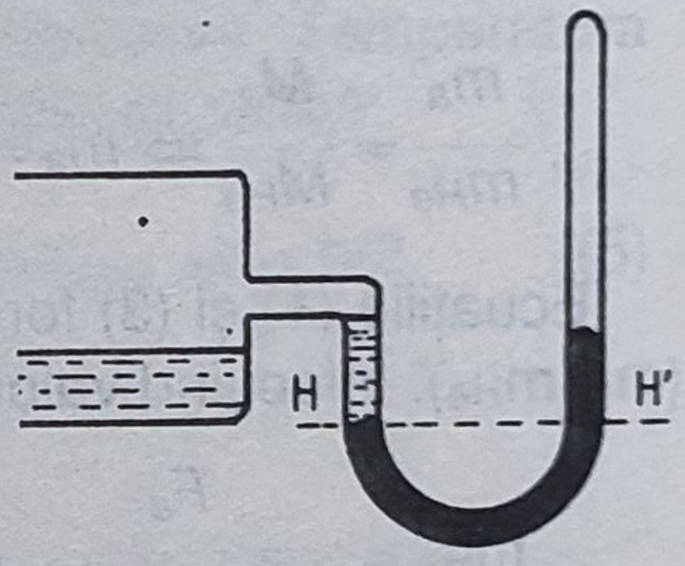


Fig. 16.

2.15. Buteliile normale utilizate pentru înmagazinarea oxigenului au capacitatea de 40 l, încărcătura fiind de 6 m^3 (N): a) Care este presiunea în butelia complet încărcată, dacă temperatura locului de depozitare a acesteia este de + 35°C? b) Ce cantitate de oxigen poate fi folosită, dacă presiunea minimă la care poate fi utilizat oxigenul este de 6 at, iar temperatura buteliei este de 35°C? (μ = 32 g/mol)

2.16. Într-un recipient de 3 m^3 se găsește oxigen la presiunea de 970 mm Hg și la temperatura de 100°C. a) Care este greutatea specifică a oxigenului în această stare? b) Care va fi presiunea în recipient și greutatea specifică a oxigenului, dacă temperatura acestuia crește la 500°C? Ce masă are oxigenul?

2.17. O bulă de aer având temperatura de 100°C și volumul de 0,1 cm^3 se găsește la adâncimea de 1,033 m sub nivelul apei. Ce volum va ocupa când va ieși din apă la presiunea atmosferică normală și la temperatura de 27°C?

2.18. Se consideră două mase egale de azot și oxigen. Să se calculeze: a) raportul volumelor lor în aceleași condiții de temperatură și presiune; b) dacă temperatura azotului în K este cu 10% mai mare ca a oxigenului, la ce presiuni volumele celor două mase egale de gaze vor fi egale. Care dintre cele două

mase de gaz va avea mai multe molecule și cu cât?

2.19. Ce volum ocupă două molecule-gram de metan la temperatura de 546 K și presiunea de 10 atm? Ce viteză pătratică medie au moleculele la această temperatură?

2.20. 2,6 kg aer cu presiunea de 700 torr ocupă un volum de 2,5 m^3. Care sunt temperatura și densitatea aerului în condițiile date? (ρ_0 = 1,3 g/l) Care este energia cinetică medie de translație a moleculelor în aceste condiții?

2.21. Pentru o analiză se culeg 85 cm^3 dintr-un gaz într-o eprubetă gradată și răsturnată într-o chiuvetă cu mercur. Mercurul se ridică în eprubetă la 20 cm față de nivelul din chiuvetă. Să se calculeze masa gazului cules, știind că presiunea atmosferică este de 75 cm Hg și temperatura de 25°C. Densitatea relativă a gazului este de 1,53, iar ρ_{aer} = 1,3 g/l.

2.22. O instalație pentru aer cald aspiră aerul din exterior la temperatura de −10°C și îl încălzește la +60°C. Se cer: a) căldura necesară pentru încălzirea aerului, dacă instalația debitează 1000 m^3/h aer cald la presiunea de 780 mm Hg; b) căldura cedată aerului din încăperile încălzite, dacă aerul cald iese din acestea cu temperatura de 20°C (c_{aer} = 0,24 cal/g·grd, ρ_{aer} = 1,293 kg/m^3).

2.23. Camera unui barometru de secțiune *S* conține puțin aer. Într-o zi când temperatura este *t* °C și presiunea *H*, el arată *H'* și lungimea coloanei de aer este de *l* cm. În altă zi, temperatura fiind *t'* °C, el arată *H''*. Se cere presiunea exterioară *x* în cazul al doilea. Se va neglija dilatația mercurului și a vasului.

2.24. La ce temperatură oxigenul la presiunea de 20 cm Hg va avea aceeași densitate ca hidrogenul la 0°C și presiunea de 260 cm Hg?

(d_{O_2} = 1,105; d_{H_2} = 0,069)

2.25. Un rezervor cu capacitatea de 50 m^3 cuprinde azot la temperatura de 0°C și presiunea de 800 mm Hg. Prin încălzire, presiunea crește la 3,7 atm. Să se calculeze căldura absorbită de azot (c_v = 0,188 kcal/kg·grd; masa atomică N = 14).

2.26. Viteza pătratică medie moleculară a hidrogenului la 0°C este de 1800 m/s. Să se calculeze: a) viteza pătratică medie moleculară a oxigenului dacă masa moleculară a hidrogenului este 2 și a oxigenului 32; b) densitatea absolută și relativă a oxigenului; c) volumul ocupat de $6{,}02 \cdot 10^{19}$ molecule de oxigen în condiții normale și masa gazului; d) masa atomului și a moleculei de oxigen.

2.27. Să se determine diametrul secțiunii transversale a unei conducte prin care circulă 31,4 kg azot pe minut la presiunea de 10,33 at, cu viteza de 20 m/s, dacă temperatura este de 27°C (masa moleculară este 28).

2.28. Pe talerele unei balanțe cu brațe egale se găsesc două baloane de sticlă închise, de raze $R_1 = R_2/2$, pârghia fiind orizontală. Temperatura aerului este de 0°C și presiunea de 760 torr. Presiunea devine 600 torr și temperatura 27°C. Se cer: a) diferența dintre masele celor două baloane; b) în ce taler trebuie pusă o greutate suplimentară pentru echilibrarea balanței, la schimbarea condițiilor, și mărimea acestei greutăți ($\alpha_s = 9 \cdot 10^{-6} \cdot grd^{-1}$ și densitatea aerului ρ_0).

NOT 1362

2.29. Compoziția aproximativă în volume a aerului atmosferic pentru condițiile normale este: 79% N_2 și 21% O_2. Să se calculeze: a) presiunea pe care o exercită fiecare dintre gaze într-un litru de aer; b) masele respective în același volum, știind că raportul maselor *m*, a unui litru de azot, și *m'*, a unui litru de oxigen este 14/16, iar masa unui litru de aer este 1,293 g.

Rezolvare. a) Legea amestecurilor gazelor permite calculul presiunilor parțiale ale fiecărui gaz.

Pentru N_2: $790 \cdot 76 = 1000\ x$; $x = 60{,}04$ cm Hg

Pentru O_2: $210 \cdot 76 = 1000\ y$; $y = 15{,}96$ cm Hg

$$x + y = 76 \text{ cm Hg}$$

b) Notând cu *m* masa unui litru la 76 cm Hg, masa *M* a unui litru de azot la presiunea de 60,04 cm Hg va fi:

$$M = m \cdot 60{,}04/76 = m \cdot 790/1000 \quad (1)$$

Pentru un litru de oxigen, avem:

$$M' = m' \cdot 15{,}96/76 = m' \cdot 210/1000 \quad (2)$$

Raportând relațiile (1) și (2), se obține:

$$M/M' = (m/m') \cdot (79/21) = (14/16) \cdot (79/21) = 79/24$$

Știind că:

$$M + M' = 1{,}293$$

rezultă sistemul

$$\begin{cases} \dfrac{M}{M'} = \dfrac{79}{24} \\ M + M' = 1{,}293 \end{cases}$$

Prin rezolvare, se obține:

$$M = 0{,}990 \text{ g}; \quad M' = 0{,}303 \text{ g}$$

sau, în procente de masă:

$$N_2 = 76{,}55\%; \quad O_2 = 23{,}45\%$$

2.30. Un balon de sticlă cu capacitatea de 2 l la 0°C este umplut cu aer uscat la presiunea de 76 cm Hg și temperatura de 0°C. Balonul se încălzește la 100°C și se deschide într-un mediu cu presiunea de 74 cm Hg. Se cere masa aerului ieșit din balon (1 l aer la 0°C și 76 cm Hg cântărește 1,293 g; $\gamma_{\text{sticlă}} = 1/38700\ \text{grd}^{-1}$).

2.31. Într-un recipient cu volumul de 5 l, se introduc: 2 l oxigen cu presiunea

de 5 at, 4 l hidrogen cu presiunea de 3 at și 7 l azot cu presiunea de 10 at. Să se calculeze: a) presiunea exercitată de fiecare gaz; b) presiunea amestecului, temperatura fiind considerată constantă.

2.32. Într-un rezervor de 1000 m^3 se introduc 100 kg hidrogen și 1500 kg azot. Temperatura în rezervor este de 30°C. Care sunt presiunile parțiale ale gazelor componente și care este presiunea din rezervor? (μ_{H_2} = 2 g/mol, μ_{N_2} = = 28 g/mol)

2.33. Într-un rezervor de volum *V* se află un amestec de heliu și argon cu masele m_1 = 8 g și m_2 = 4 g, la temperatura t = 17 °C și presiunea p = 10^6 N/m^2. Să se calculeze:

a) masa molară medie a amestecului de gaze;

b) densitatea amestecului în condițiile date și în condiții normale de presiune și temperatură;

c) volumul recipientului;

d) presiunile parțiale ale gazelor componente. (μ_{He} = 4 g/mol, μ_{Ar} = 40 g/mol)

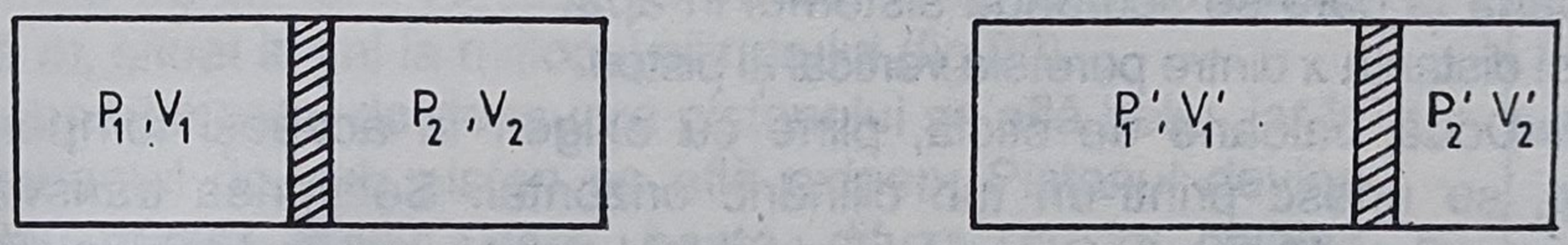


Fig. 17.

2.34. Un vas cilindric ce conține un gaz este împărțit în două compartimente cu ajutorul unui piston. Presiunea și volumul gazului în fiecare compartiment sunt indicate în figura 17. Se lasă apoi pistonul liber și se mărește de două ori temperatura în compartimentul din stânga. Să se determine variația volumului gazului în compartimentul din stânga, ca rezultat al schimbării de temperatură.

2.35. Un tub cilindric de lungime *L* și închis la un capăt se scufundă în apă până când capătul închis se găsește la suprafața liberă a apei. După realizarea echilibrului termic aer-apă, apa se ridică în tub până la înălțimea de $\frac{2}{3}L$. Să se determine temperatura inițială a aerului din tub, dacă temperatura apei este T_1 și presiunea atmosferică p_0.

2.36. Să se afle numărul de curse pe care trebuie să le efectueze pistonul unei pompe de vid pentru a micșora presiunea aerului dintr-un vas cu volumul *V* de la valoarea p_0 la $p = 10^{-6}p_0$, dacă volumul cilindrului pompei este V_0. Temperatura se menține constantă.

Aplicație: V = 1 l; V_0 = 9 l.

2.37. O pipetă cilindrică de lungime l = 25 cm este scufundată cu jumătate din lungimea sa în mercur. Se închide apoi la partea superioară cu degetul și se scoate din mercur. Care va fi lungimea coloanelor de aer și mercur după stabilirea echilibrului? Presiunea atmosferică este H = 760 torr. Dar dacă pipeta

ar fi fost introdusă complet în mercur? Se neglijează fenomenul de capilaritate.

2.38. Un gaz are, la temperatura t = 27°C, viteza pătratică medie $\sqrt{\overline{v^2}}$ = = 2000 m/s și drumul liber mediu $\overline{\lambda} = 10^{-7}$ cm. Să se calculeze:

a) numărul mediu de ciocniri suferite de fiecare moleculă într-o secundă;

b) variația numărului de ciocniri când temperatura crește la t_2 = 727°C, drumul liber fiind același;

c) presiunea produsă de gaz la temperatura *t*, dacă concentrația moleculară are valoarea $n = 3{,}01 \cdot 10^{25}$ molecule/m^3.

2.39. Într-o cuvă cu apă se scufundă un cub cu pereți subțiri, cu latura *a*, având în locul unuia dintre pereții laterali un piston mobil (fig.18). Greutatea *G* a întregului sistem fiind mai mică decât $a^3\rho \cdot g$ (ρ fiind densitatea apei), iar presiunea inițială a aerului în interiorul cubului fiind egală cu presiunea atmosferică p_0, să se determine adâncimea *h* până la care se scufundă sistemul în apă, precum și distanța *x* dintre peretele vertical și piston.

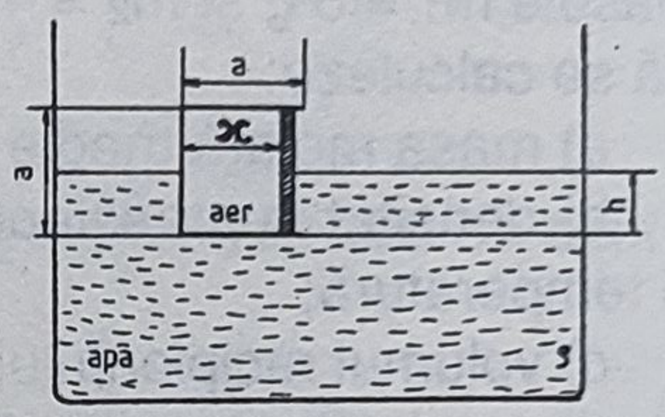


Fig. 18.

2.40. Două baloane de sticlă, pline cu oxigen la aceeași temperatură și presiune, se unesc printr-un tub cilindric orizontal. Secțiunea transversală a tubului este S = 10 mm^2. O picătură de lichid ocupă mijlocul tubului și separă cele două mase de gaz. Volumele maselor de gaz separate de picătură sunt V_A = 125 cm^3 și V_B = 190 cm^3. Se încălzește balonul B la temperatura t_B = 80°C, iar balonul A se aduce la temperatura t_A = --20°C. Să se calculeze:

a) distanța pe care s-a deplasat picătura de lichid după stabilirea echilibrului, dacă nu se ține seama de dilatarea baloanelor;

b) numărul total de molecule de oxigen din cele două baloane, dacă starea inițială este cea normală. (numărul lui Avogadro $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ molecule/mol).

2.41. Într-un cilindru vertical, închis la ambele capete, se mișcă fără frecare un piston. Deasupra și dedesubtul pistonului se află mase egale din același gaz, la temperatura T_1 = 300 K. Când pistonul se află în echilibru sub acțiunea forțelor de presiune din partea gazului, raportul volumelor $V_1/V_2 = n = 3$. Ce raport va exista între volumele $V_1'/V_2' = x$, dacă temperatura gazului devine T_2 = = 400 K?

2.42. Se consideră un amestec de gaze cu masele molare $\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n$ și concentrațiile în mase $c_1 = m_1/m$, $c_2 = m_2/m$, ..., $c_n = m_n/m$. Să se determine masa molară medie a amestecului de gaze, dacă volumul amestecului este *V* la presiunea *p* și temperatura *T*.

2.43. Două vase, A și B, cu volumele V_A = 1 dm^3 și V_B = 2 dm^3, conțin același gaz în aceleași condiții de temperatură și presiune (t = 20°C și p = 1 atm). După ce sunt încălzite la volum constant, vasul A la temperatura t_A = 100°C și vasul B la temperatura t_B = 250°C, se stabilește legătura între cele două vase printr-un tub de volum neglijabil. Sistemul ajunge la echilibru termic fără pierderi de căldură în exterior. Să se calculeze:

a) presiunea p' a sistemului de gaze la echilibrul termic;

b) numerele de moli de gaz n_A și n_B din vasele A și B în faza finală de echilibru;

c) cantitatea m de gaz care a trecut dintr-un vas în altul.

2.44. Într-un cilindru vertical, închis în partea de sus cu un piston de masă M = 20 kg și suprafață S = 200 cm^2, se află m = 16 g oxigen la temperatura t = 127°C (fig.19).

Resortul R din cilindru are constanta elastică k = 30 N/cm și energia de deformare la solicitarea în cilindru W = 60 J. Presiunea atmosferică $p_0 = 10^5$ Pa și g = 10 m/s^2. Să se calculeze:

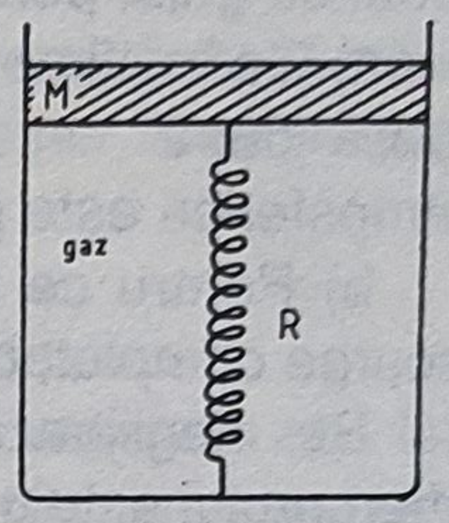


Fig. 19.

a) poziția pistonului în cilindru;

b) temperatura la care forța elastică din resort devine nulă și poziția pistonului nu se schimbă. Se neglijează frecările. (Resortul nu își schimbă parametrii.).

2.45. Într-un cilindru vertical, de volum V, se află un piston de masă m, situat inițial la mijlocul cilindrului (fig.20).

În compartimentul de deasupra pistonului se află heliu, iar în compartimentul de sub piston se află oxigen. Pistonul devine permeabil pentru heliu, care poate difuza și în celălalt compartiment și se poate mișca fără frecări. Să se calculeze:

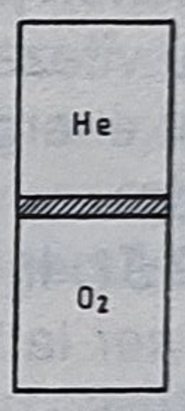


Fig. 20.

a) deplasarea pistonului, când temperatura nu se schimbă;

b) deplasarea pistonului, când temperatura crește cu k = 10%.

2.46. Transformarea suferită de o masă de gaz este dată de graficul din figura 21. Să se demonstreze cum a variat volumul gazului la trecerea din starea 1 în starea 2.

2.47. În fig.22 se dă graficul transformării unei mase de gaz. Să se arate:

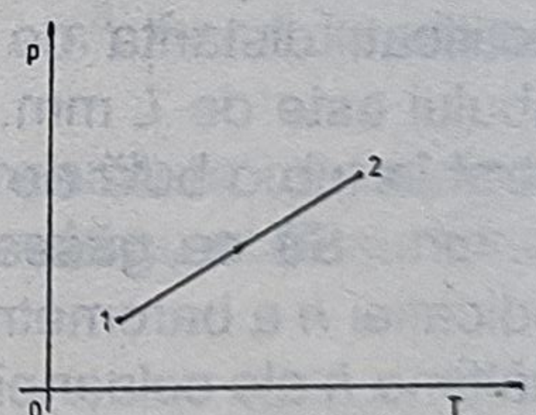


Fig. 21.

a) cum a variat volumul și densitatea gazului în această transformare;

b) în ce stări gazul are același volum?

2.48. Într-un recipient de oțel cu volumul V = 5 l se introduc volume egale, V' = 5,6 l, de hidrogen și oxigen în condiții normale. După aprinderea amestecului cu ajutorul unei scântei electrice, temperatura ajunge la t = 100°C. Care va fi presiunea în recipient în acest caz, dacă se neglijează dilatarea lui?

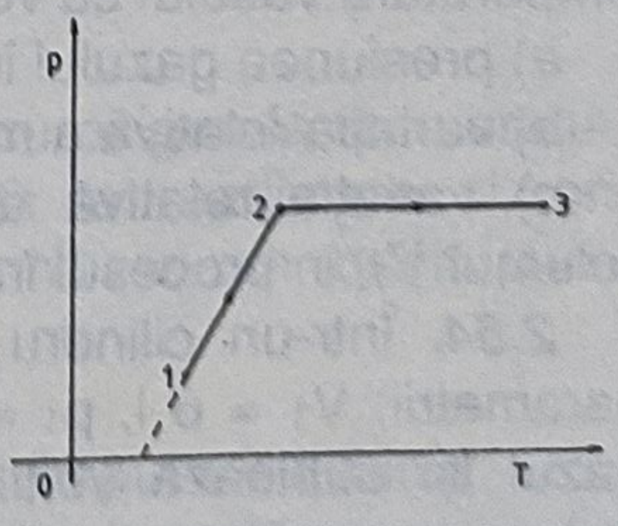


Fig. 22.

Reacția ce are loc este: $H_2 + 1/2\ O_2 = H_2O$.

2.49. Într-un tub de sticlă sudat la unul din capete, de lungime l = 70 cm, se află o coloană de

aer închisă cu ajutorul unui piston deasupra căruia se află o coloană de mercur cu înălțimea h = 20 cm, mercurul aflându-se în partea de sus a tubului (fig.23). Se întoarce tubul cu grijă, pentru a nu se risipi mercurul.

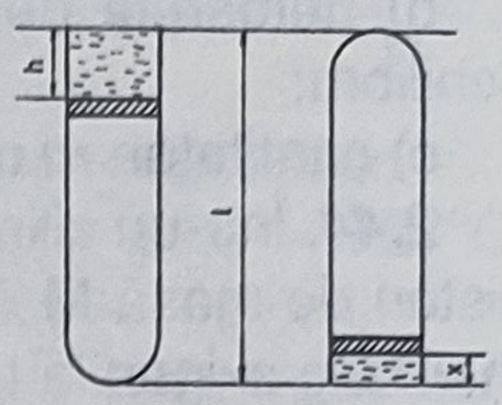


Fig. 23.

a) Ce înălțime *x* va avea coloana de mercur rămasă în tub, după întoarcerea acestuia, dacă presiunea atmosferică este p_0 = 750 torr?

b) Pentru ce temperatură cantitatea de mercur se va scurge complet, dacă temperatura inițială a fost de 17°C?

Se neglijează greutatea pistonului, iar densitatea mercurului este $\rho = 13{,}6\ g/cm^3$.

2.50. Printr-o conductă cu secțiunea $S = 5\ cm^2$ se scurge bioxid de carbon la presiunea $p = 3{,}9 \cdot 10^5$ Pa și temperatura t = 7°C, în timpul τ = 10 min.

Gazul este acumulat într-un cilindru de oțel cu volumul V_1 = 100 l la presiunea p_1 = 1058140 Pa și temperatura t_1 = 17°C. Să se calculeze:

a) viteza de curgere a gazului prin conductă;

b) energiile cinetice medii moleculare ale moleculelor de bioxid de carbon din cilindru.

2.51. În interiorul unei conducte așezate vertical, cu înălțimea h = 100 m, se află aer la temperatura T_1 = 500 K. Temperatura aerului din exterior este T_2 = = 250 K. La partea de sus conducta este deschisă iar la cea de jos se află o clapetă cu aria $S = 300\ cm^2$. Ce forță acționează asupra clapetei, dacă presiunea aerului la capătul superior al conductei este p = 740 torr?

2.52. Într-un barometru cu mercur, având un tub barometric cilindric rectificat, distanța de la nivelul mercurului din vas până la capătul sudat al tubului este de *L* mm. La presiunea atmosferică normală *H* și temperatura t_1, a intrat în tub o bulă de aer, lungimea coloanei de mercur micșorându-se până la h_1 mm. Să se găsească expresia pentru corecția p_1, care trebuie adăugată indicației *h* a barometrului pentru a-l putea utiliza la orice temperatură *t* și la orice înălțime *h* ale coloanei de mercur.

2.53. Două vase de volume V_1 și $V_2 = nV_1$, care conțin un gaz la presiunea *p*, sunt legate printr-un tub de volum neglijabil. Inițial, cele două vase se află la aceeași temperatură, *T*. Se încălzește vasul V_1 până la temperatura $T' = kT$, temperatura vasului cu volumul V_2 fiind menținută constantă. Să se calculeze:

a) presiunea gazului în starea finală;

b) variația relativă a masei de gaz din volumul V_2 în timpul încălzirii;

c) variația relativă a vitezei termice a moleculelor gazului din vasul cu volumul V_1, în procesul încălzirii. Aplicație: $p = 2 \cdot 10^3$ Pa, n = 3, k = 2.

2.54. Într-un cilindru cu piston mobil (fără frecări) se găsește metan cu parametrii: V_1 = 6 l, p_1 = 2 atm și T_1 = 600 K. Printr-o transformare izotermă, gazul își dublează volumul. În continuare, prin răcire izocoră, presiunea se reduce la jumătate și, prin răcire izobară, ajunge la volumul inițial. Să se traseze diagrama transformărilor în sistemele p - V și p - T și să se calculeze:

a) masa moleculei de metan și numărul de moli;

b) parametrii de stare în stările 2, 3 și 4;

c) raportul dintre densitățile din starea 1 și starea 3 și variația relativă a densității în acest caz.

2.55. În trei vase identice, fiecare de volum V, se află mase egale din trei gaze diferite, cu masele molare μ_1, μ_2 și μ_3, $\mu_1 > \mu_2 > \mu_3$, și cu temperatura comună T. Să se calculeze:

a) presiunea în fiecare vas;

b) ce presiune se va stabili, dacă toate trei vasele comunică între ele;

c) ce masă de gaz se găsește în fiecare vas, dacă se așază vasele în așa fel ca, prin egalizarea presiunii, gazele să circule în același sens, circulația inversă fiind imposibilă?

2.56. Într-un cilindru cu volumul V = 1 l se găsește oxigen cu masa m = 1,6 g, la presiunea H = 120 kPa. Să se calculeze:

a) impulsul unei molecule de oxigen;

b) impulsul total al moleculelor.

2.57. Două baloane, cu volumele $V_1 = 5$ l și $V_2 = 2V_1$, conțin oxigen la presiunile $p_1 = 200$ kPa și $p_2 = 150$ kPa și comunică între ele printr-un tub de volum neglijabil, prevăzut cu un robinet inițial închis. Temperatura oxigenului din baloane este $t = 47^\circ C$.

Să se calculeze masele de gaz din fiecare balon și concentrația moleculară a gazului după deschiderea robinetului.

2.58. Două baloane identice comunică între ele printr-un tub de sticlă cu diametrul d = 4 mm, la jumătatea căruia se află o picătură de mercur care împarte sistemul în două volume egale, fiecare de $V = 157$ cm^3. Aerul din ele are temperatura $t = 17^\circ C$. Să se calculeze:

a) cu cât se va deplasa picătura de mercur, dacă temperatura unuia dintre baloane crește cu $\Delta t = 2,9$ grade și temperatura celuilalt scade cu același număr de grade;

b) variația energiei interne a aerului din baloane.

2.59. Într-o incintă se găsește oxigen la temperatura $t = 27^\circ C$ și presiunea $p = 10^5$ Pa. Energia cinetică medie a tuturor moleculelor este W = 10350 J. Să se afle:

a) numărul de molecule de oxigen;

b) densitatea oxigenului din incintă.

2.60. O butelie cu volumul V = 18 l este încărcată cu oxigen la temperatura $t = 17^\circ C$ și presiunea $p = 5 \cdot 10^5$ Pa. Ea este folosită la reanimare și, prin deschiderea robinetului, are loc o destindere izotermă cu un debit $D_m = 1,00$ mg/s.

Să se determine:

a) variația energiei interne a gazului din butelie după timpul $\tau = 1$ minut;

b) presiunea gazului din butelie după timpul τ;

c) variația densității gazului din butelie în acest timp.

2.61. Într-un vas cilindric de înălțime h= 0,2 m se introduce, prin dopul etanș al gâtului, un tub de sticlă cu lungimea l = 100 cm, care atinge fundul cilindrului neetanș. Presiunea în cilindru este presiunea atmosferică, $p_1 = 10^5$ Pa, și temperatura $t_1 = 17^oC$. Prin tub se introduce apă caldă până când acesta se umple și temperatura de echilibru aer - apă din vas devine $t_2 = 27^oC$.

În aceste condiții, să se calculeze înălțimea apei din vas, dacă presiunea vaporilor de apă este $p_s = 4000$ Pa și $g = 10\ m/s^2$.

2.61. Într-un vas cilindric de înălțime h= 0,2 m se introduce, prin dopul etanș al gâtului, un tub de sticlă cu lungimea l = 100 cm, care atinge fundul cilindrului neetanș. Presiunea în cilindru este presiunea atmosferică, $p_1 = 10^5$ Pa, și temperatura $t_1 = 17^oC$. Prin tub se introduce apă caldă până când acesta se umple și temperatura de echilibru aer - apă din vas devine $t_2 = 27^oC$.

În aceste condiții, să se calculeze înălțimea apei din vas, dacă presiunea vaporilor de apă este $p_s = 4000$ Pa și $g = 10\ m/s^2$.

3. Principiul I al termodinamicii

Considerații teoretice

Un sistem termodinamic în stare de repaus și fără energie potențială este caracterizat de *energia internă* (U) – mărime macroscopică, numită *mărime de stare.*

Când un sistem termodinamic se află în interacțiune cu un alt sistem, are loc un schimb de energie între cele două sisteme. Acest schimb se poate face pe două căi:

a) prin lucru mecanic, adică prin intermediul forțelor de interacțiune și al deplasărilor macroscopice;

b) prin schimb de căldură, adică prin contact termic (microscopic, de la moleculă la moleculă), datorită unei diferențe de temperatură.

Principiul I al termodinamicii se referă la variația energiei interne a sistemului și se enunță astfel:

În orice transformare, variația ΔU a energiei interne depinde numai de stările inițială și finală ale sistemului, fiind independentă de stările intermediare prin care trece sistemul termodinamic.

Matematic, se scrie:

$$Q = U_2 - U_1 + L = \Delta U + L \qquad (1)$$

Rezultă că o parte din căldura absorbită de sistem rămâne în interior mărind energia internă a sistemului, iar restul trece în exterior, ca lucru mecanic efectuat de sistem.

Căldura și lucrul mecanic sunt *mărimi de proces* sau *de transformare* și nu caracterizează sistemul, sunt tratate algebric. Astfel, când sistemul primește căldură, $Q > 0$, iar când cedează căldură, $Q < 0$; când sistemul efectuează lucru mecanic, $L > 0$, iar când primește lucru mecanic, $L < 0$.

Coeficienți calorici

Căldura (Q) măsoară variația energiei interne a unui sistem termodinamic într-un proces izocor. Măsurarea ei se face și în unitatea tolerată, caloria (cal).

1 cal_{15} reprezintă căldura necesară unui gram de apă pură pentru a-și ridica temperatura cu 1°C, de la 14,5°C la 15,5°C, la presiunea normală.

1 cal = 4,1855 J; 1 Kcal = 4185,5 J.

1. *Căldura specifică (sensibilă)*, c, este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unității de masă dintr-un corp pentru a-și varia temperatura cu un grad. (constantă de material)

$$c = (1/m)\cdot(Q/\Delta t);\ [c]_{SI} = J/kg\cdot K \qquad (2)$$

2. *Capacitatea calorică*, C, este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară pentru a varia temperatura unui corp cu un grad.

$$C = Q/\Delta t;\ [C]_{SI} = J/K \qquad (3)$$

Relația dintre capacitatea calorică și căldura specifică este:

$$C = m\cdot c \qquad (4)$$

3. *Căldura molară*, Ç, este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unui mol (kmol) pentru a-i modifica temperatura cu un grad.

$$C = (1/\nu)\cdot(Q/\Delta t);\ [C]_{SI} = J/(kmol\cdot K) \qquad (5)$$

Relația între căldura molară și căldura specifică este:

$$C = \mu\cdot c \qquad (6)$$

Căldura schimbată de sistem cu exteriorul depinde de procesul de transformare – izobar sau izocor.

Deci, deosebim călduri specifice la volum constant și la presiune constantă – c_v și c_p –, ca și capacități calorice și călduri molare la volum constant și la presiune constantă C_v și C_p.

Relațiile dintre ele rezultă din principiul I al termodinamicii:

$$Q = \Delta U + L \Leftrightarrow m\cdot c_p\cdot\Delta T = m\cdot c_v\cdot\Delta T + p\cdot\Delta V \qquad (7)$$

Din relația (7) rezultă:

$$c_p - c_v = p\Delta V/m\Delta T \qquad (8)$$

Pentru solide și lichide – variațiile de volum fiind destul de mici – se consideră $c_p \approx c_v = c$ și analog pentru C.

În cazul gazelor, folosind ecuația de stare:

$$pV = \frac{m}{\mu}\cdot RT \Rightarrow p\Delta V = \frac{m}{\mu}\cdot R\Delta T \qquad (9)$$

rezultă, din (8) și (9):

$$c_p - c_v = R/\mu \Rightarrow C_p - C_v = R \qquad (10)$$

Relația (10) reprezintă *ecuația Robert Mayer.*

Aplicarea principiului I la transformările gazelor

1. *Transformarea izotermă* (pV = const., m = = const., T = const.).

$$T = \text{const.} \Rightarrow \Delta U = 0;\ Q = L = \int_{V_1}^{V_2} pdV$$

Folosind ecuația de stare, pV = νRT, se obține:

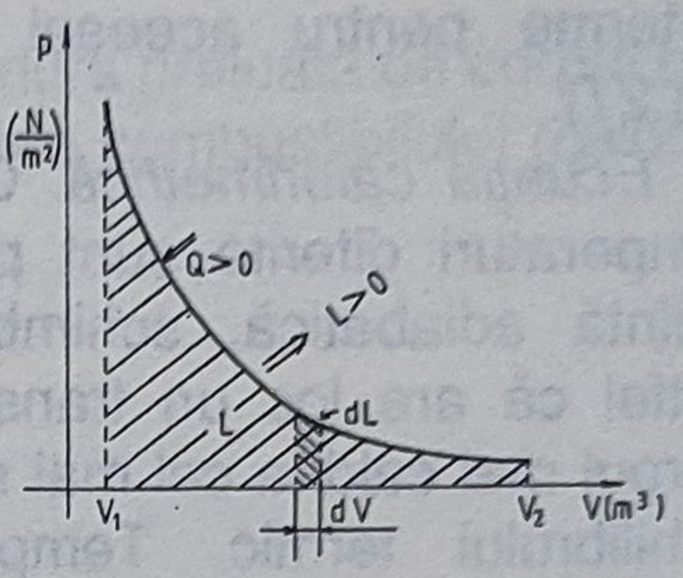


Fig. 24.

$$Q = L = \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2} \qquad (11)$$

Lucrul mecanic este egal cu aria de sub graficul transformării (fig. 24).

2. *Transformarea izobară* (V/T = const., p = const., m = const.)

$$Q = \nu \cdot C_p \cdot \Delta T,\ \Delta U = \nu \cdot C_v \cdot \Delta T,\ L \approx p(V_2 - V_1) = p\Delta V \qquad (12)$$

Lucrul mecanic este aria dreptunghiului V_1V_2, 12 din figura 25.

3. *Transformarea izocoră* (p/T = const, V = = const., m = const.)

$$L = \int pdV = 0;\ Q = \nu C_v \Delta T = \Delta U \text{ (fig. 26)} \qquad (13)$$

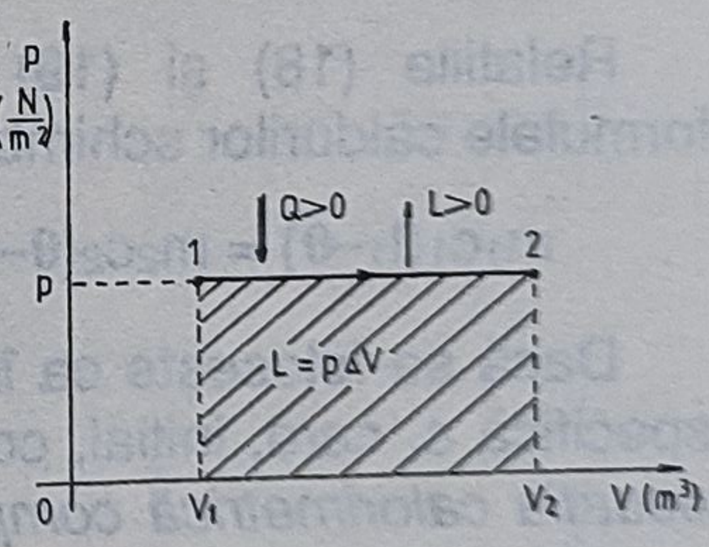


Fig. 25.

4. *Transformarea adiabatică.* Sistemul nu schimbă căldură cu exteriorul (sistem termic izolat).

Are la bază legea transformării adiabatice exprimată prin ecuația Poisson:

$$p \cdot V^{\gamma} = \text{const.},\ \gamma = C_p/C_v = \text{exponent adiabatic} \qquad (14)$$

Folosind ecuația de stare, pV = νRT, se mai poate scrie:

$$T \cdot V^{\gamma - 1} = \text{const. și } T \cdot p^{(1-\gamma)/\gamma} = \text{const.} \qquad (15)$$

$$Q = 0,\ L = -\Delta U = \nu C_v (T_1 - T_2) \qquad (16)$$

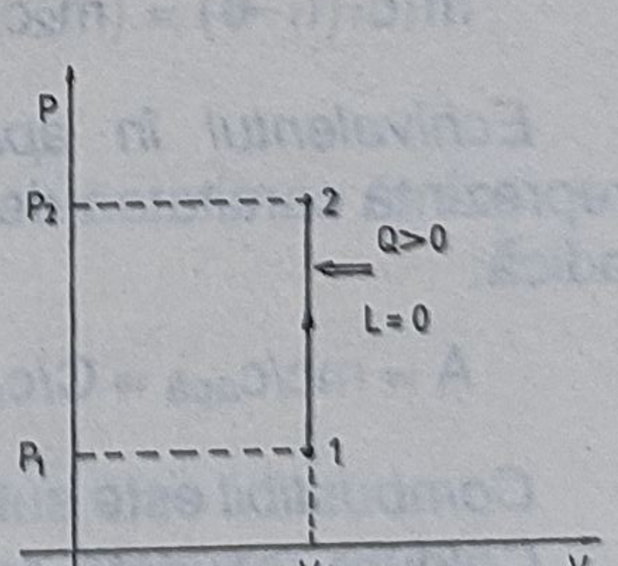


Fig. 26.

Lucrul mecanic se realizează prin micșorarea

energiei interne. În cazul când nu se cunosc T_1 și T_2, se folosesc ecuația de stare, ecuația R. Mayer și γ și se obține:

$$L = (p_1V_1 - p_2V_2)/(\gamma - 1) \qquad (17)$$

Lucrul mecanic este aria de sub adiabată și este mai mic decât în cazul unei transformări izoterme pentru aceeași variație a volumului (fig.27).

Ecuația calorimetrică. Când două corpuri cu temperaturi diferite sunt puse în contact într-o incintă adiabatică, schimbă între ele energie, astfel că are loc un transfer de căldură de la corpul mai cald la cel mai rece până la stabilirea echilibrului termic. Temperatura comună se numește temperatură finală (θ).

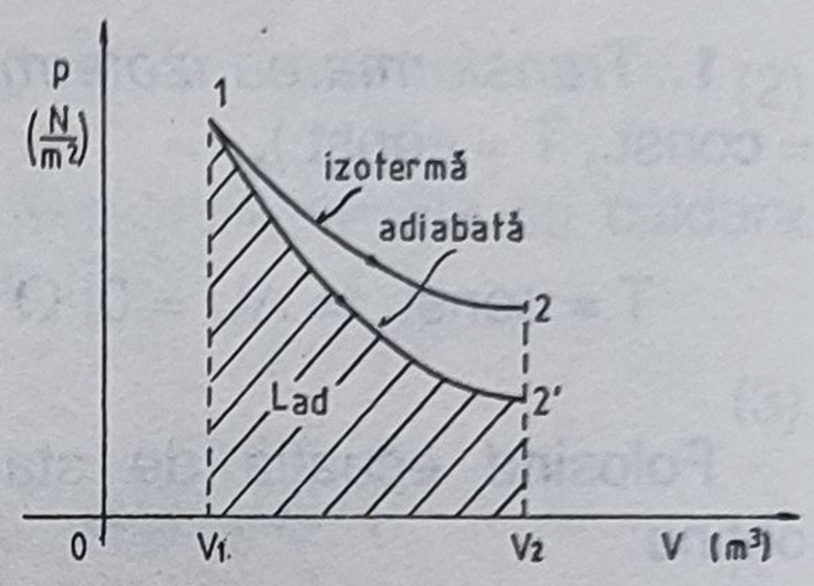


Fig. 27.

Având în vedere conservarea energiei, se poate scrie:

$$Q_1 + Q_2 = 0 \qquad (18)$$

Dacă temperatura t_1, a primului corp, este mai mare decât a celui de al doilea, $t_2 < t_1$, atunci $Q_1 < 0$ și $Q_2 > 0$. Relația (18) se mai poate scrie:

$$|Q_1| = Q_2 \qquad (19)$$

Relațiile (18) și (19) reprezintă *ecuația calorimetrică globală*. Folosind formulele căldurilor schimbate, avem:

$$m_1c_1(t_1 - \theta) = m_2c_2(\theta - t_2) \qquad (20)$$

Dacă se folosește ca înveliș adiabatic un calorimetru de masă m și căldură specifică c, care, inițial, conține corpul de masă m_2 ca agent de schimb, avem *ecuația calorimetrică completă* (21), cu care putem face determinări de călduri specifice, de exemplu c_1, cunoscând masele și temperaturile:

$$m_1c_1(t_1 - \theta) = (m_2c_2 + mc)(\theta - t_2) \qquad (21)$$

Echivalentul în apă al unui corp, de exemplu al vasului calorimetric, reprezintă cantitatea de apă a cărei capacitate calorică este egală cu a corpului, adică:

$$A = mc/c_{apă} = C/c_{apă};\ [A] = kg \qquad (22)$$

Combustibil este substanța care, prin ardere, degajă căldură.

Căldura rezultată prin arderea completă a combustibilului este proporțională cu masa acestuia, iar constanta de proporționalitate se numește *putere calorică* (q). Deci:

$$Q = mq;\ [q] = J/kg \text{ sau } kcal/kg \qquad (23)$$

În cazul când combustibilul este gazos, cantitatea de combustibil se poate exprima și în unități de volum, iar puterea calorică se măsoară în $J/m^3(N)$ sau $kcal/m^3(N)$.

N în paranteză înseamnă că volumul de gaz se află în condiții normale de temperatură și presiune.

Randamentul unui încălzitor este raportul între căldura preluată de corpul pus la încălzit (căldură utilă) și căldura rezultată din arderea combustibilului (căldură consumată).

$$\eta = Q_u/Q_c = Q_u/mq \qquad (24)$$

Principiul I al termodinamicii

Aplicații

Căldură și coeficienți calorici

3.1. Să se calculeze căldura specifică *c* a amestecului de azot și hidrogen cu compoziția în volume 75% H_2 și 25% N_2, căldura specifică a azotului fiind 6,96 kcal/kmol·grd și a hidrogenului 6,86 kcal/kmol·grd.

Rezolvare. Căldura specifică a amestecurilor, dacă între componenți nu au loc reacții chimice, se poate calcula cu ajutorul legii amestecurilor:

$$100\ mc = ma_1c_1 + ma_2c_2 + ... + ma_nc_n$$

de unde:

$$c = (1/100)\ (a_1c_1 + a_2c_2 + ... + a_nc_n)$$

unde a_1, a_2 ... reprezintă conținutul procentual. Deci:

$$c = (1/100)\ (25 \cdot 6,96 + 75 \cdot 6,86) = 6,885\ kcal/kmol \cdot K$$

Rezolvarea în S.I.

1 mol N_2 = 28,016 g, 1 kmol = 28,016 kg

$$c_{N_2} = 6,96\ kcal/kmol \cdot K = 6,96 \cdot \frac{4,1868}{28,016} \cdot kJ/kgK = 1,04\ kJ/kgK$$

1 mol H_2 = 2,016 g, 1 kmol = 2,016 kg

$$c_{H_2} = 6,86\ kcal/kmolK = (6,86 \cdot 4,1868/2,016) \cdot kJ/kgK = 14,25\ kJ/kgK$$

$$c = 0,75 \cdot 14,25\ kJ/kgK + 0,25 \cdot 1,04\ kJ/kgK = 10,9475\ kJ/kgK$$

3.2. Ce căldură se consumă la încălzirea a 2 l de apă de la temperatura

inițială, de 10°C, până la punctul de fierbere? ($\rho = 1$ g/cm^3; $c = 4180$ J/kgK)

3.3. Care este căldura pe care o poate ceda apa unui bazin cu suprafața de 500 m^2 și adâncimea de 1 m, dacă i se micșorează temperatura cu 1°C?

3.4. Care este căldura specifică a mercurului, dacă, pentru ridicarea temperaturii cu 30°C a 5 kg, este necesară căldura care poate ridica temperatura a 500 g apă cu 9°C?

3.5. Care este raportul căldurilor necesare pentru a ridica cu același număr de grade, temperaturile a două volume egale de fier și aluminiu?

3.6. Să se calculeze căldura necesară încălzirii aerului dintr-o cameră cu dimensiunile 10 x 5 x 4 m^3, de la 10°C la 20°C, dacă prin pereți se pierde 10% din căldura respectivă.

Ce cantitate de apă ar putea ceda această căldură, dacă temperatura inițială a apei ar fi de 100°C și temperatura finală de 20°C? (c_{aer} = 1003,1 J/kg-grd; ρ_{aer} = 1,293 kg/m^3).

3.7. Să se calculeze căldura specifică a minereului de fier cu compoziția: 7,5% umezeală, 84,1% Fe_2O_3, 8,4% steril (SiO_2 etc.), căldura specifică a apei fiind 1 cal/g-grd, a Fe_2O_3 0,146 cal/g-grd și a sterilului 0,278 cal/g-grd.

3.8. Să se determine căldura specifică a alamei cu compoziția: 60% Cu și 40% Zn (c_{Cu} = 380 J/kg-grd, c_{Zn} = 379 J/kg-grd).

Calorimetria

3.9. Se introduc două volume egale de aluminiu și fier în 3 l de apă la temperatura de 4°C. Temperatura inițială a bucăților de metal fiind de 300°C, temperatura finală devine 24°C. Care sunt masele celor două metale? (ρ_{Al} = = 2,7 g/cm^3; ρ_{Fe} = 7,8 g/cm^3; c_{Al} = 919,6 J/kg-grd; c_{Fe} = 459,8 J/kg-grd).

Rezolvare. Din enunțul problemei, se poate scrie:

$$\begin{cases} V_{Al} = V_{Fe} \\ |Q_{ced}| = Q_{primit} \end{cases}$$

sau

$$\begin{cases} \dfrac{m_{Al}}{\rho_{Al}} = \dfrac{m_{Fe}}{\rho_{Fe}} \\ (c_{Al} m_{Al} + c_{Fe} m_{Fe})(t_1 - \theta) = mc(\theta - t_2) \end{cases}$$

sau, înlocuind valorile numerice:

$$\begin{cases} 7{,}8 \cdot 10^3 m_{Al} - 2{,}7 \cdot 10^3 m_{Fe} = 0 \\ (919{,}6 m_{Al} + 459{,}8 m_{Fe}) 276 = 3 \cdot 4180 \cdot 20 \end{cases}$$

Rezolvând sistemul, se obține:

$m_{Al} = 0{,}382$ kg; $m_{Fe} = 1{,}234$ kg.

3.10. Se amestecă 2 kg de apă cu temperatura de 10°C cu 5 kg de apă cu temperatura de 80°C. Care va fi temperatura finală a amestecului?

3.11. O bucată de platină de 20 g este introdusă într-un cuptor și ținută până preia temperatura acestuia. Se scoate apoi și se introduce repede în 50 g de apă cu temperatura de 10°C. Se constată că temperatura finală devine 20°C. Care a fost temperatura cuptorului?

3.12. Într-un calorimetru de Cu, cu masa de 100 g, care conține 200 g de apă la temperatura de 4°C, se introduc 300 g de Cu cu temperatura de –20°C și se agită până la obținerea unei temperaturi uniforme. Să se calculeze temperatura finală. Care trebuie să fie masa cuprului introdus, pentru ca temperatura să devină 0°C?

3.13. O bucată de cupru cu masa de 200 g și cu temperatura de 100°C se introduce într-un calorimetru care conține 340 g de apă, a cărei temperatură inițială este 12,6°C. Temperatura finală a amestecului devine 16,8°C. Să se calculeze capacitatea calorică a vasului calorimetric.

3.14. În 2 kg de apă cu temperatura de 10°C se introduce o bucată de fier cu greutatea aparentă de 4,27 N și temperatura de 100°C. Care va fi temperatura finală, dacă pierderea de căldură este de 10%? ($\rho_{Fe} = 7800$ kg/m^3, $c_{Fe} = 460$ J/kg·grd).

3.15. Într-un cazan de cupru cu masa de 3 kg se găsesc 3 kg de apă cu temperatura de 25°C. În cazan se toarnă alcool cu temperatura de 15°C, pentru a obține o soluție de concentrație 75%. Care va fi temperatura finală, dacă nu ținem seama de căldura ce poate lua naștere prin amestecare? ($c_{alcool} = 2424{,}47$ J/kg·grd; $c_{Cu} = 376{,}2$ J/kg·grd).

3.16. Într-un calorimetru de aluminiu cu masa de 100 g se găsesc 200 g de apă cu temperatura de 10°C. În el se introduc o bucată de fier de 300 g și 100 g mercur și se agită bine până la obținerea aceleiași temperaturi pentru toate corpurile amestecate. Dacă temperatura finală devine 20°C, ce temperatură a avut bucata de fier, temperatura mercurului fiind de 50°C? ($c_{Hg} = 125$ J/kg·grd; $c_{Fe} = 460$ J/kg·grd; $c_{Al} = 920$ J/kg·grd)

3.17. O bucată de argint este încălzită la 101,9°C și pe urmă este introdusă într-un calorimetru care conține 81,34 g de apă, ridicând temperatura apei de la 11,09°C la 11,71°C. Echivalentul în apă al calorimetrului, agitatorului și termometrului este de 2,91 g.

Aceeași bucată de argint se încălzește la 101,2°C și apoi se introduce în 75,3 g de esență de terebentină, a cărei temperatură se ridică de la 10,98°C la 12,5°C. Calorimetrul fiind același, să se calculeze căldura specifică a esenței de terebentină. ($c_{Ag} = 259{,}16$ J/kg·grd)

3.18. Într-un calorimetru de platină se introduce o soluție cu masa de 300 g. Calorimetrul și soluția au temperatura de 15,7°C. Se toarnă în calorimetru încă o

soluție, cu masa de 200 g și temperatura de 14,5°C. Cele două soluții reacționează între ele și căldura degajată face să se urce temperatura amestecului la 17,3°C.

Să se calculeze cantitatea de căldură degajată din reacție (masa calorimetrului este de 70 g și de căldura specifică de 125,4 J/kg·grd). Se admite că soluțiile au căldurile specifice egale cu a apei.

3.19. Se încălzesc într-un vas 200 g de apă și o bilă de sticlă cu goluri, cu $V = 200\ cm^3$, care cântărește în aer 99,74 g, până la 100°C. Se răstoarnă totul într-un calorimetru cu masa de 100 g și căldura specifică 837,2 J/kg·grd, care conține 200 g dintr-un lichid necunoscut, cu temperatura de 10°C. Temperatura finală ajungând la 20°C, să se calculeze căldura specifică a lichidului ($\rho_{aer} = 1,3\ g/m^3$).

3.20. Un amestec de 5 kg cupru și fier, cu temperatura de 100°C, se amestecă cu 3 kg de apă cu temperatura de 10°C. Temperatura finală devenind 22,9°C, să se calculeze cantitățile folosite din cele două metale ($c_{Cu} = 400$ J/kg·grd; $c_{Fe} = 460$ J/kg·grd).

3.21. Într-un vas de cupru cu masa de 2 kg, care conține 10 kg de apă la temperatura de 20°C, se introduc trei bucăți de aluminiu, fier și aur, care, împreună, au masa de 7 kg și temperatura de 420°C. Temperatura finală ajunge la 60°C. Să se calculeze masa fiecărui metal, dacă masa aurului reprezintă 1/6 din masa celorlalte metale.

Puterea calorică

3.22. Într-un vas de aluminiu cu masa de 500 g se încălzesc 2 l de apă de la temperatura de 0°C până la punctul de fierbere. Încălzirea se face cu ajutorul unui arzător cu randamentul de 30%. Să se calculeze cât costă încălzirea, dacă prețul unui litru de petrol este 300 lei. ($\rho_{petrol} = 0,8\ g/cm^3$; $q = 46046$ kJ/kg; $c_{Al} = 920,9$ J/kg·grd)

Rezolvare. Cost petrol = preț x V consumat.

$$V = m/\rho$$

Calculul masei petrolului se face ținând seama de randamentul arzătorului:

$$\eta = Q_u/Q_c$$

unde:

Q_u – căldura primită de la arzător de corpurile încălzite, adică de vas și apă;

Q_c – căldura totală rezultată din arderea combustibilului în timpul încălzirii

$Q_c = mq$.

Deci:

$$\eta = Q_u/Q_c = (Q_{Al} + Q_{apă})/Q_c = (m_1c_1 + m_2c_2)\cdot(t_2-t_1)/mq$$

de unde:

$$m = (m_1c_1 + m_2c_2)\cdot(t_2-t_1)/q\cdot\eta$$

Înlocuind valorile numerice, rezultă:

$$m = (0,5\cdot920,9 + 2\cdot4186)(373 - 273)/(0,3\cdot46046\cdot10^3) = 0,064 \text{ kg}$$

$$V = m/\rho = 0,064 \text{ kg}/800 \text{ kg/m}^3 = 8\cdot10^{-5} \text{ m}^3 = 80 \text{ cm}^3$$

Cost petrol = 300 lei/l x 0,08 l = 24 lei

3.23. Să se calculeze randamentul unui arzător care a consumat 50 g petrol lampant pentru a produce fierberea a 2 kg de apă de la 20°C. Fierberea are loc într-o oală de fier cu masa de 500 g (c_{Fe} = 459,8 J/kg·grd; q = 4598·10^4 J/kg).

3.24. Care este cantitatea de apă cu temperatura de 10°C care, absorbind 50% din căldura rezultată la arderea a 2 m^{3}N de gaze cu puterea calorică de 10000 kcal/m^{3}N, ajunge la temperatura de 60°C?

3.25. Un cilindru cu volumul V = 10 l conține gaz metan la temperatura t = 27°C și presiunea p = 6 atm. Să se calculeze:

a) densitatea metanului din cilindru;

b) timpul cât ar funcționa un motor termic cu puterea P = 5 kW și randamentul η = 30%, folosind întreaga cantitate de gaz metan din cilindru;

c) masa de apă ce poate fi adusă la fierbere de la temperatura t_1 = 15°C, dacă în cilindru mai rămâne metan până la presiunea p' = 2 atm și la aceeași temperatură (q = 36 MJ/m^{3}N, μ = 16 g/mol; $c_{apă}$ = 4185 J/kg·K).

3.26. O cameră are dimensiunile de 5 m x 4 m x 3 m. Aerul din ea are temperatura de 10°C. Ce cantitate de lemne trebuie arsă într-o sobă cu randamentul de 20% pentru a menține temperatura constantă într-un interval de 24 ore, dacă prin pereți se pierde o cantitate de căldură de 25·10^6 J? Dar pentru ca temperatura să crească cu 10°C? (q = 13400 kJ/kg; c_{aer} = 1000 J/kg·grd; ρ_{aer} = 1,3 g/l).

3.27. Pe un arzător cu randamentul de 40% se încălzește un vas de fier cu masa de 2 kg, care conține 10 kg apă cu temperatura de 20°C. Cât petrol se consumă pentru a ridica temperatura apei cu tot atâtea grade cu cât s-ar ridica dacă am introduce o bucată de cupru de 6 kg, cu temperatura de 1000°C? (q = 45980 kJ/kg; c_{Cu} = 380 J/kg·K; c_{Fe} = 460 J/kg·K; $c_{apă}$ = 4180 J/kg·K)

Transformarea energiei mecanice în căldură

3.28. Un tractor are puterea nominală de 45 CP și consumă 210 g/CP·h motorină cu puterea calorică de 418·10^5 J/kg. Să se calculeze randamentul

motorului tractorului și de rezistența pe care o învinge, dacă folosește întreaga putere și merge cu viteza de 8,83 km/h.

Rezolvare. a) Randamentul motorului se exprimă prin formula:

$$\eta = L_{util}/L_{consumat} = Pt/mqJ$$

unde $L_{consumat}$ este lucrul mecanic corespunzător căldurii rezultate din arderea combustibilului. Prin înlocuire, se obține:

$$\eta = (45 \times 75 \times 9{,}8\ J/s \cdot 3600\ s)/\ (0{,}210 \cdot 45\ kg \cdot 418 \cdot 10^5\ J/kg) = 0{,}3014 = 30{,}14\%$$

b) Din formula puterii, $P = F \cdot v_m$, se obține:

$$F = \frac{P}{v_m} = \frac{45 \cdot 75 \cdot 9{,}8\ \frac{Nm}{s}}{2{,}45\ \frac{m}{s}} = 13500\ N$$

3.29. Un automobil cu puterea de 29,4 kW, lucrând cu un randament de 20%, are o rezervă de benzină de 26 l. Ce distanță va parcurge automobilul cu această benzină, dacă are viteza medie de 60 km/h? ($\rho_{benz.} = 0{,}615\ g/cm^3$; $q = 46 \cdot 10^3\ kJ/kg$)

Rezolvare. Distanța se calculează din ecuația mișcării:

$$s = v_m \cdot t.$$

Pentru a calcula timpul, folosim formula randamentului:

$$\eta = P \cdot t/mq \Rightarrow t = m \cdot q\eta/P$$

Masa benzinei:

$$m = \rho V$$

Prin înlocuire, obținem:

$$t = \frac{26 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot 615 \frac{kg}{m^3} \cdot 46 \cdot 10^6 \frac{J}{kg} \cdot 0{,}2}{29{,}4 \cdot 10^3 \frac{J}{s}} = 5001{,}40\ s \approx 1{,}39\ h$$

$$s = v_m t = 60\ km/h \cdot 1{,}39\ h = 83{,}4\ km$$

3.30. Un motor are puterea de 29,4 kW și pune în mișcare, cu ajutorul unei curele de transmisie, o mașină. Admițând că ungerea mașinii s-a făcut defectuos, se pierde prin frecarea dintre axul mașinii și lagăr 2% din putere, iar din căldura rezultată din cauza frecării, 60% rămâne în axul pe care se găsește

roata transmisiei. Să se calculeze după cât timp temperatura axului ajunge la 300°C, dacă masa lui este de 10 kg (temperatura inițială este de 20°C) (c = = 459,8 J/kg·grd).

Rezolvare. Energia pierdută de motor pe secundă este 0,02 P = 0,02 x 29,4 = = 0,588 kW = 588 J/s.

Convertită în calorii, are valoarea:

$$Q = (588 \text{ J/s})/(4{,}19 \text{ J/cal}) = 140 \text{ cal}$$

Din această căldură, rămâne în ax 60%, adică:

$$Q_1 = 0{,}6\, Q = 0{,}6 \cdot 588 = 352{,}8 \text{ J/s}$$

Scriind formula căldurii acumulate în timpul *t:*

$$Q_1 t = mc(t_2 - t_1) \Rightarrow t = mc(t_2 - t_1)/Q_1$$

Înlocuind cu valorile numerice, se obține:

$$t = [10 \text{ kg} \cdot 459{,}8 \text{ J/kg·grd } (300-20)\text{grd}] / (352{,}8 \text{ J/s}) = 3666{,}6 \text{ s}$$

3.31. Cu câte grade se va ridica temperatura unui proiectil când intră într-o scândură cu viteza de 400 m/s și iese cu viteza de 300 m/s? (c = = 125,4 J/kg·grd)

Rezolvare. Se folosește relația dintre lucrul mecanic și căldură, unde lucrul mecanic transformat este tocmai variația energiei cinetice.

$$\frac{m}{2}(v^2 - v_0^2) = mc\Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{v^2 - v_0^2}{2c}$$

Prin înlocuire, se obține:

$$\Delta t = \frac{400^2 - 300^2}{2 \times 125{,}4} = 279{,}1^0\text{C}$$

3.32. Un motor are puterea de 367,5 W și învârtește timp de 10 min. axul prevăzut cu palete din interiorul unui calorimetru, în care apa și echivalentul în apă al calorimetrului sunt 10 kg. Cu câte grade se va ridica temperatura apei?

3.33. Un disc având raza de 0,5 m și masa de 20 kg se rostogolește pe o suprafață orizontală. Centrul său de greutate are viteza de 20 m/s.

Discul izbește un perete rigid care reține 20% din energia transformată în căldură. Se cere: a) căldura primită de perete; b) variația de temperatură a roții, dacă are căldura specifică 500 J/kg·grd. (momentul de inerție $J = mr^2/2$)

3.34. Cu câte grade se va ridica temperatura unui corp de fier care cade liber de la înălțimea de 1000 m, admițând că păstrează în el 70% din căldura rezultată prin transformarea energiei mecanice? Dar dacă este aruncat cu viteza inițială de 10 m/s de la aceeași înălțime? (c = 460 J/kg·grd)

3.35. Câți litri de motorină consumă un tractor care are randamentul de 36% și ară timp de 10 ore un teren cu forța de rezistență de 14700 N, deplasându-se cu viteza de 1 m/s? ($q = 41800$ kJ/kg; $\rho = 800$ kg/m^3)

3.36. Un corp de masă *m* este aruncat de jos, cu viteza inițială de 20 m/s, pe un plan înclinat cu $\alpha = 30^\circ$. Coeficientul de frecare fiind 0,1, să se calculeze variația de temperatură suferită de corp în timpul mișcării până la baza planului, dacă 80% din căldura rezultată este înmagazinată de el ($c = 418$ J/kg·K).

3.37. Un ascensor cu masa de o tonă face o cursă de 20 m, mișcându-se uniform 40 s, sub acțiunea moderată a unei frâne. Se cer: a) valoarea energiei cinetice, la sfârșitul cursei; b) căldura înmagazinată de frână în timpul unei curse.

3.38. Două sfere cu masele de 2 kg și de 5 kg, se deplasează cu vitezele de 5 m/s și 2 m/s după două direcții ce fac între ele un unghi de 60°. Dacă sferele se ciocnesc, care va fi viteza lor finală, considerând ciocnirea perfect plasică? Dar variația lor de temperatură. Ce valoare are, dacă $c = 126$ J/kg·grd?

3.39. Un corp cu masa de 1 kg este aruncat pe verticală în sus cu viteza $v_{01} = 20$ m/s. La o secundă după plecarea lui se aruncă un al doileța corp, de 0,5 kg, cu $v_{02} = 100$ m/s. Să se calculeze: a) timpul scurs de la plecarea celui de al doilea corp până când ambele corpuri ating pământul, dacă se ciocnesc plastic în aer; b) variația de temperatură suferită de cele două corpuri, de aceeași natură și cu aceeași temperatură inițială, la ciocnirea între ele, dacă $c = 400$ J/kg·grd; c) variația de volum a corpurilor la atingerea unei suprafețe tari de la suprafața Pământului, dacă ele reține 80% din energie. ($g = 10$ m/s^2, $\rho = 12$ g/cm^3, $\alpha = 14 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1}).

3.40. Presiunea aburului într-un cilindru al unei mașini cu vapori este $p = 9$ at, suprafața pistonului $s = 300$ cm^2, cursa pistonului $l = 100$ cm, numărul rotațiilor volantului pe minut 120, randamentul $\eta = 12\%$. Ce cantitate de țiței cu puterea calorică de 10000 kcal/kg se consumă pe oră? (Se va ține seama că la o învârtire a roții pistonul face două curse).

3.41. O bilă de plumb cu masa $m_1 = 1$ kg este legată de un fir inextensibil și fără greutate și oscilează izocron cu perioada de πs și amplitudinea de 60°. Din afară pătrunde un glonte cu masa $m_2 = 20$ g, ce se mișcă orizontal, cu viteza de 500 m/s, în momentul când bila trece prin poziția de echilibru, venind în sens contrar lui. Glontele rămânând în masa de plumb, să se calculeze:

a) amplitudinea cu care va oscila pendulul mai departe;

b) variația de temperatură suferită de cele două corpuri, dacă se admite că ele aveau inițial aceeași temperatură ($c_1 = c_2 = 126$ J/kg·°C).

3.42. Un motor este încercat la bancul de probă (frâna Prony, fig. 28). În permanent se citesc valorile: turația $n = 1200$ rot/min; greutatea de echilibru a frânei 392 N; brațul pârghiei $l = 0{,}8$ m. Debitul apei de răcire fiind de 3000 kg/h, să se determine temperatura apei la ieșire, știind că la intrare are temperatura de 15°C și că toată căldura produsă prin frecare este preluată numai de apa de răcire.

3.43. O roată de tramvai are diametrul de 60 cm și greutatea de 5390 N. Pentru frânare, se aplică pe geanta ei un sabot greu de 157 N, care apasă cu o forță de 7840 N. Până la oprirea completă a tramvaiului, roata face 500 de rotații. Coeficientul de frecare are valoarea 0,2. Căldura dezvoltată prin frânare o presupunem că trece jumătate în sabot și jumătate în roată. Dacă temperatura lor inițială este de 20°C, să se calculeze temperaturile finale ale sabotului și roții (c = 460 J/kg·K).

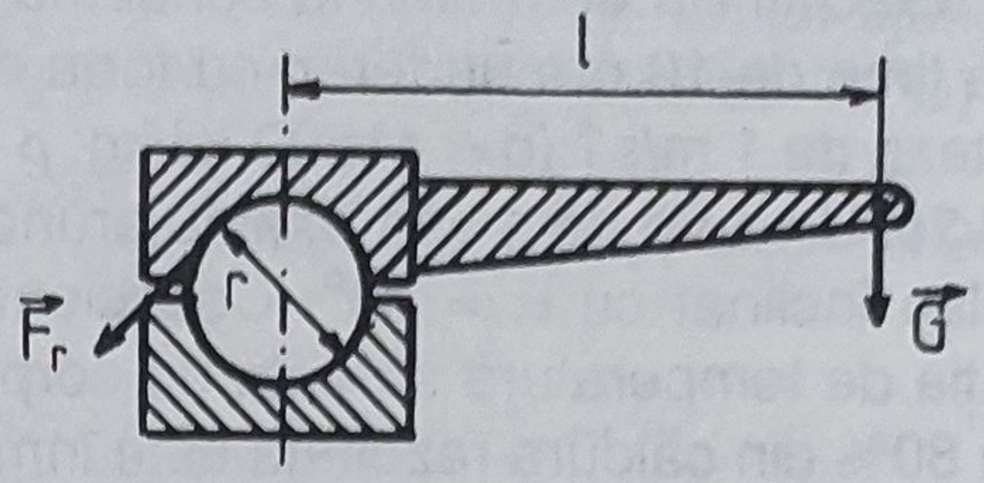


Fig. 28.

3.44. O motoretă are puterea de 1900 W și poate atinge viteza de 54 km/h. Să se calculeze: a) randamentul motorului, dacă pe suta de kilometri ea consumă 1,6 l benzină ($\rho = 0{,}7$ g/cm^3, $q = 4598 \cdot 10^4$ J/kg;

b) cât de mare trebuie să fie panta unei șosele pentru ca motoreta, plecând din repaus, să atingă viteza de 36 km/h în 0,5 min, dacă motoreta și pasagerul său dau o sarcină totală în mișcare de 145 kg ($\mu = 0{,}1$; $g = 9{,}8$ m/s^2).

Aplicațiile principiului I al termodinamicii la transformările gazelor

3.45. Într-un cilindru cu pistonul blocat, de volum V = 5,00 l, se găsește azot la temperatura $t_1 = 27°C$ și presiunea $p_1 = 100$ kPa. Prin încălzire, gazul ajunge la temperatura $t_2 = 227°C$. Să se calculeze:

a) presiunea finală în cilindru;

b) densitatea gazului din cilindru și numărul de moli;

c) căldura absorbită, lucrul mecanic și variația energiei interne.

Rezolvare. a) Deoarece pistonul este blocat, volumul rămâne constant și gazul suferă o transformare izocoră.

Din legea transformării izocore (Charles), avem:

$$p_1/T_1 = p_2/T_2 \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot T_2/T_1 \qquad (1)$$

Folosind valorile numerice, din relația (1) se obține:

$p_2 = 100$ kPa $(227+273)$K/300K = 500/3 = 166,66 kPa

b) Densitatea gazului se obține din ecuația de stare:

$$\rho = m/V = \mu p/RT = \mu p_1/RT_1 = \mu p_2/RT_2 \qquad (2)$$

Înlocuind valorile numerice în (2), rezultă:

$$\rho = 28 \text{ kg·kmol}^{-1} \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}/(8314 \text{ J·kmol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\cdot 300 \text{ K}) \approx 1{,}123 \text{ kg/m}^3$$

$$P_1V_1 = \nu RT_1 \Rightarrow \nu = p_1V_1/RT_1 =$$

$= 10^5\ Nm^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-3}\ m^3/(\ 8314\ J \cdot kmol^{-1}K^{-1} \cdot 300\ K) = 0{,}2$ moli

c) Procesul este izocor, deci $L = 0$ și:

$$Q = Q_v = \Delta U = \nu C_v \Delta t \qquad (3)$$

Energia internă a gazului în teoria cinetico-moleculară este

$$U = \nu \cdot i/2 \cdot RT \text{ și } \Delta U = \nu \cdot i/2 \cdot R\Delta T \qquad (4)$$

Numărul gradelor de libertate în cazul azotului, care este gaz biatomic, este $i = 5$.

Din relațiile (3) și (4) rezultă:

$$\nu C_v \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T \Rightarrow C_v = \frac{5}{2} \cdot R$$

$$\text{Deci: } \Delta U = Q_v = 5/2 \cdot \nu R \Delta T = 5/2 \cdot (p_1V_1/T_1) \cdot \Delta T \qquad (5)$$

Prin înlocuire în (5), se obține:

$$\Delta U = Q_v = 5/2 \cdot (10^5\ Nm^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-3}\ m^3/\ 300\ K) \cdot 200\ K = 25/3\ kJ.$$

3.46. O masă $m = 0{,}1$ kg oxigen cu temperatura $t_1 = 127°C$ și cu volumul $V_1 = 0{,}1\ m^3$ se destinde izoterm până la dublarea volumului. În continuare se comprimă izobar până la obținerea volumului inițial. Se răcește apoi izocor până ajunge în starea inițială. Să se stabilească:

a) diagrama transformărilor și valorile parametrilor în cele trei stări;

b) căldura și lucrul mecanic schimbate de sistem cu exteriorul în ciclul de transformări și variația energiei interne. ($\mu_{O_2} = 32$ kg/kmol).

Rezolvare. Diagrama transformărilor se vede în fig. 29.

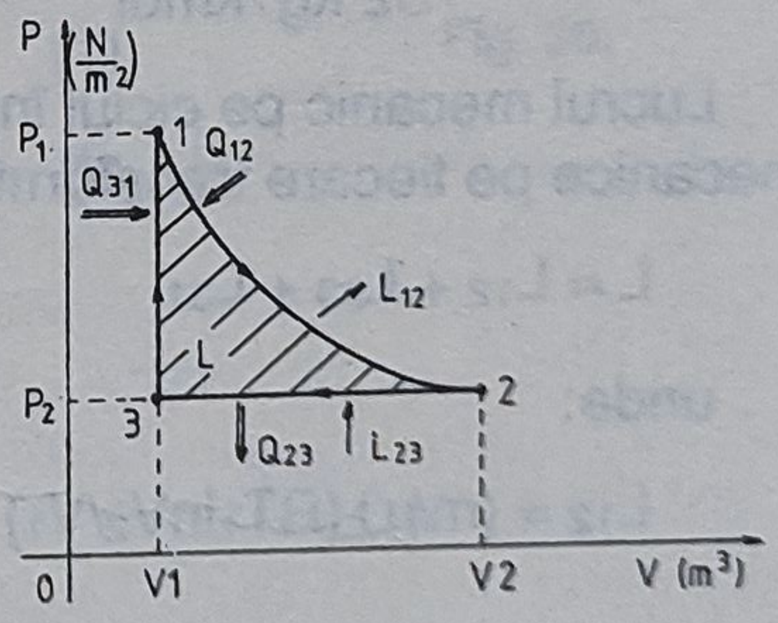


Fig. 29.

În starea 1 parametrii sunt:

$$V_1 = 0{,}1\ m^3;\ T_1 = 400\ K;\ p_1 = (m/\mu) \cdot (RT_1/V_1) = 103925\ N/m^2$$

Trecerea în starea 2 se face prin transformare izotermă: $p_1V_1 = p_2V_2$.

Parametrii sunt: $V_2 = 2V_1 = 0{,}2\ m^3$; $T_2 = T_1$; $p_2 = p_1/2 = 51962{,}5\ N/m^2$.

Din starea 2 în starea 3, transformarea este izobară la presiunea p_2:

$$V_2/T_2 = V_3/T_3$$

Din datele problemei rezultă:

$V_2 = 2V_1$, $V_3 = V_1$ și $T_2 = T_1 \Rightarrow T_3 = T_2 \cdot V_3/V_2 = T_1 \cdot V_1/2V_2 = T_1/2$

Deci $V_3 = 0{,}1\ m^3$; $p_3 = p_2 = 51962{,}5\ N/m^2$; $T_3 = T_1/2 = 200\ K$

b) Căldura pe întregul ciclu este suma algebrică a căldurilor pe fiecare transformare:

$$Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} \qquad (1)$$

$$Q_{12} = \nu R T_1 \ln V_2/V_1$$

$$Q_{23} = \nu C_p(T_3 - T_2) = \frac{m}{\mu}\cdot\frac{7}{2}\cdot R\left(\frac{T_1}{2} - T_1\right) = -\frac{7}{2}\cdot\frac{m}{\mu}\cdot R\cdot\frac{T_1}{2}$$

$$Q_{31} = \nu C_v(T_1 - T_3) = \frac{m}{\mu}\cdot\frac{5}{2}\cdot R\left(T_1 - \frac{T_1}{2}\right) = \frac{5}{2}\cdot\frac{m}{\mu}\cdot R\cdot\frac{T_1}{2}$$

Înlocuind în relația (1) căldurile din fiecare transformare, avem:

$$Q = (m/\mu)\cdot R\cdot T_1(\ln V_2/V_1 - 7/4 + 5/4) = 0{,}193\cdot\frac{m}{\mu}\cdot RT_1 \qquad (2)$$

Înlocuind în relația (2) valorile numerice, se obține Q în ciclu:

$$Q = 0{,}193\cdot\frac{0{,}1\ kg}{32\ kg/kmol}\cdot 8314\cdot\frac{J}{kmol\ K}\cdot 400\ K = 2005{,}75\ J.$$

Lucrul mecanic pe ciclul întreg se obține prin însumarea algebrică a lucrurilor mecanice pe fiecare transformare:

$$L = L_{12} + L_{23} + L_{31} \qquad (3)$$

unde:

$$L_{12} = (m/\mu)\cdot(RT_1 \ln V_2/V_1)$$

$$L_{23} = p_2\Delta V = p_2(V_3 - V_2) = p_2(V_1 - 2V_1) = \frac{m}{\mu}\cdot\frac{RT_1}{2V_1}\cdot(-V_1) = \frac{m}{2\mu}\cdot RT_1$$

$$L_{31} = 0$$

În relația (3) se introduc valorile lucrurilor mecanice pentru fiecare transformare:

$$L = (m/\mu)\cdot RT_1 \ln V_2/V_1 - (m/2\mu)\cdot RT_1 = (m/\mu)\cdot RT_1(\ln V_2/V_1 - 1/2) \qquad (4)$$

Din relația (4) se obține lucrul mecanic cu ajutorul datelor numerice:

$$L = (0{,}1\ kg/32\ kg\cdot kmol^{-1}) \cdot 8314\ J/kmol\cdot K \cdot 400\ K\ (0{,}693 - 0{,}5) = 2005{,}755\ J$$

Variația energiei interne pe ciclu este suma variațiilor energiilor interne pe fiecare transformare:

$$\Delta U = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} + \Delta U_{31} \qquad (5)$$

$\Delta U_{12} = 0$ (transformare izotermă)

$$\Delta U_{23} = \nu C_v(T_3 - T_2) = \frac{m}{\mu}\cdot\frac{5}{2}\cdot R\,(T_3 - T_2) = \frac{5}{2}\cdot R\cdot\frac{m}{\mu}\cdot\left(-\frac{T_1}{2}\right) = -\frac{5}{4}\cdot R\cdot\frac{m}{\mu}\cdot T_1$$

$$\Delta U_{31} = \nu C_v(T_1 - T_3) = (m/\mu)\cdot(5/2)\cdot R\cdot T_1/2 = 5/4\cdot(m/\mu)\cdot RT_1$$

Din relația (5) se obține,

$$\Delta U = 0 - \frac{5}{4}\cdot R\cdot\frac{m}{\mu}\cdot T_1 + \frac{5}{4}\cdot R\cdot\frac{m}{\mu}\cdot T_1 = 0$$

3.47. Un gaz biatomic, cu parametrii în starea inițială *p* și *V*, se destinde o dată izoterm până când volumul devine *nV* și, în al doilea caz, se destinde adiabatic până la același volum.

Să se calculeze raportul lucrurilor mecanice de destindere în cele două cazuri. Aplicație: n = 2.

Rezolvare. Lucrul mecanic în destinderea izotermă este:

$$L_{izot} = pV\ln V_2/V_1 = pV\ln n \qquad (1)$$

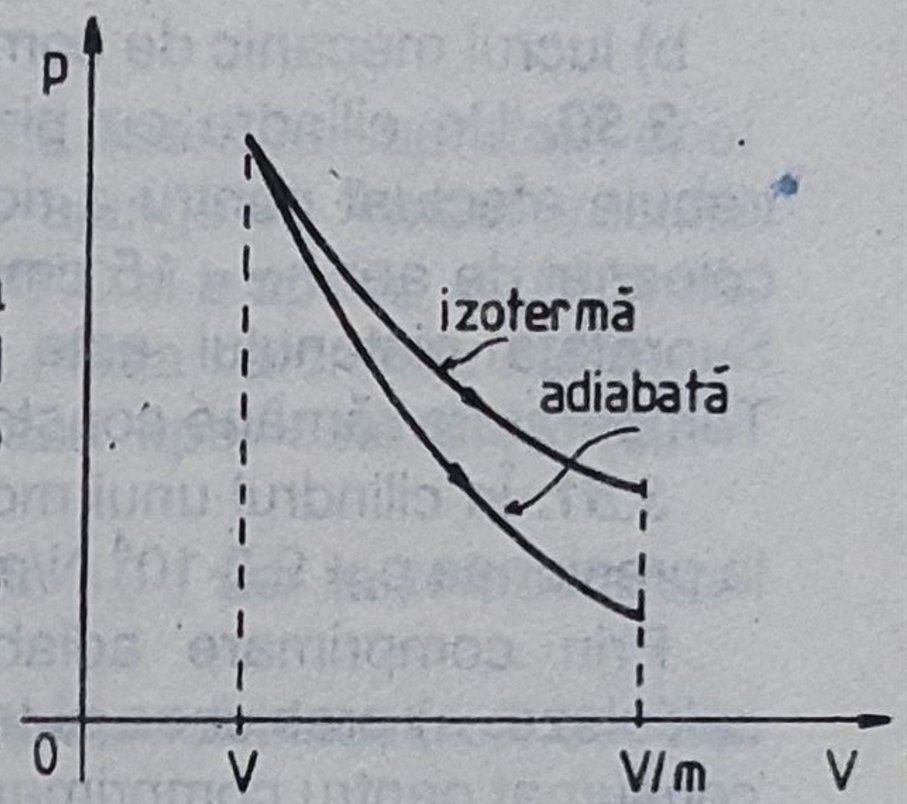


Fig. 30.

În destinderea adiabatică, ținând seama de datele problemei (fig. 30):

$$L_{ad} = (p_1V_1 - p_2V_2)/(\gamma - 1) \qquad (2)$$

Din legea transformării adiabatice avem:

$$p_1V_1^{\gamma} = p_2V_2^{\gamma} \Rightarrow p_2 = p_1(V_1/V_2)^{\gamma} \qquad (3)$$

Din relațiile (3) și (4) se obține:

$$L_{ad} = pV(1 - 1/n^{\gamma-1})\cdot 1/(\gamma - 1) \qquad (4)$$

Raportând relațiile (1) la (4) membru cu membru, avem:

$$L_{izot}/L_{ad} = pV\ln n\cdot(\gamma - 1)/\,[pV(1 - 1/n^{\gamma-1})] = n^{\gamma-1}(\gamma - 1)\ln n\,\frac{n^{\gamma-1}(\gamma - 1)\ln n}{n^{\gamma-1} - 1} \qquad (5)$$

Prin înlocuire cu valorile numerice în relația (5), avem:

$$L_{izot}/L_{ad} = 2^{1,4-1}\cdot 0,693(1,4 - 1)/\,(2^{1,4-1} - 1) = 1,15$$

$L_{izot} > L_{ad}$, așa cum se vede din diagrama din fig.30.

3.48. Un mol de gaz ideal se destinde izobar din starea cu temperatura T_1 = = 100 K și apoi, printr-o transformare izocoră, ajunge în starea finală 3 cu aceeași temperatură, T_1. În aceste transformări, gazul schimbă cu exteriorul căldura Q.

Să se construiască diagrama transformărilor și să se calculeze raportul volumelor final și inițial.

3.49. Aerul dintr-un cilindru cu piston cu presiunea p_1 = 105 kPa și temperatura t_1 = 17°C se comprimă adiabatic, raportul de compresie fiind V_1/V_2 = 15. Să se calculeze:

a) presiunea și temperatura în starea finală;

b) lucrul mecanic de comprimare, dacă volumul inițial este $V_1 = 975\ cm^3$.

3.50. Un cilindru cu piston închide o cantitate de aer. Ce lucru mecanic trebuie efectuat pentru a ridica pistonul cu h = 10 cm, dacă înălțimea inițială a coloanei de aer h_0 = 15 cm, iar presiunea atmosferică exterioară p_0 = 760 torr? Suprafața pistonului este $S = 10\ cm^2$ și greutatea pistonului G = 1 N. Temperatura rămâne constantă.

3.51. În cilindrul unui motor Diesel se aspiră volumul V = 10 l aer atmosferic la presiunea $p = 9{,}8 \cdot 10^4\ N/m^2$ și temperatura t = 10°C.

Prin comprimare adiabatică, volumul se reduce de n = 12 ori. Să se calculeze: a) presiunea și temperatura la sfârșitul comprimării; b) lucrul mecanic consumat pentru comprimare. (γ_{aer} = 1,4)

3.52. Două baloane cu pereți termoizolatori, de volume V_1 și V_2, conțin două gaze biatomice la presiunile și temperaturile p_1, T_1, respectiv p_2 și T_2. Să se calculeze presiunea și temperatura obținute prin punerea în legătură a celor două baloane. Ambele gaze au același exponent adiabatic.

3.53. Un compresor produce într-o oră $50\ m^3$ aer comprimat la presiunea p = $= 8 \cdot 10^5\ N/m^2$. Compresorul este răcit cu apă, astfel încât procesul de comprimare se poate considera izoterm. Să se calculeze: a) puterea motorului ce acționează compresorul, dacă randamentul compresorului este η = 60%; b) cantitatea de apă de răcire necesară pe oră, dacă la intrare are temperatura t_1 = 11°C și la ieșire t_2 = 17°C. Presiunea exterioară este $p_o = 10^5\ N/m^2$.

3.54. Într-un cilindru cu piston se destinde adiabatic o masă de aer m = = 100 g de la presiunea p_1 = 150 at și temperatura t_1 = 20°C la presiunea p_2 = 1 at. Să se stabilească parametrii în starea finală a aerului și lucrul mecanic de destindere.

3.55. O masă de aer m = 15 kg se destinde la presiune constantă, efectuând un lucru mecanic $L = 10^6$ J. La sfârșitul destinderii, temperatura aerului este t_2 = = 600°C. Să se calculeze căldura necesară pentru producerea transformării și variația energiei interne. ($\mu_{med.aer}$ = 29 kg/kmol)

3.56. În figura 31, sunt reprezentate graficele variațiilor temperaturilor a două mase egale de apă și alcool, încălzite simultan de surse identice. Să se arate:

a) care este graficul apei și care este al alcoolului;

b) care din lichide se încălzește mai mult și de câte ori.

3.57. La un încălzitor cu gaze, apa circulă prin serpentină cu un debit de 8 l/minut, la o variație de temperatură de 36°C. Consumul specific este de 38 l(N)/min. de gaz metan. Să se calculeze:

a) randamentul încălzitorului;

b) consumul de combustibil pentru încălzirea a 500 kg apă. ($q = 3{,}6 \cdot 10^7$ J/m^3(N), $c_{apă} = 4180$ J/kg·K)

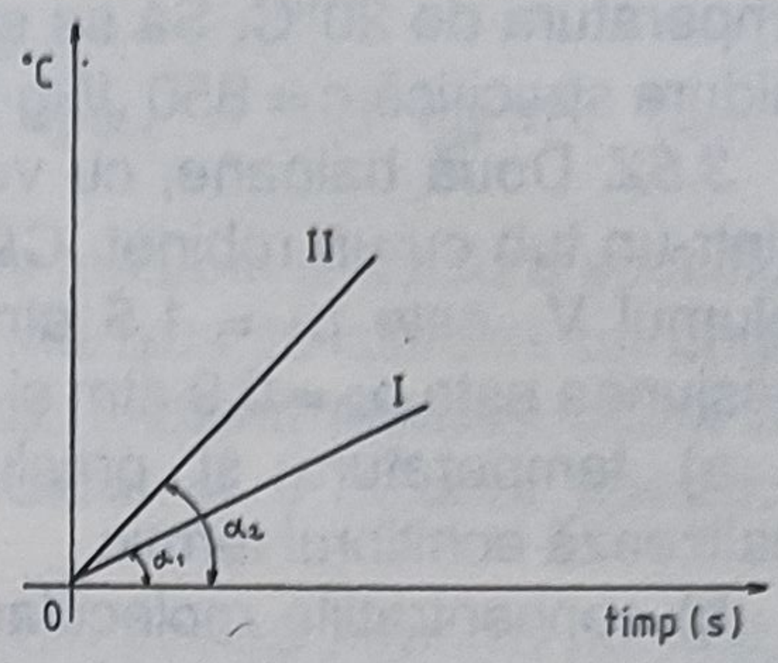


Fig. 31.

3.58. O bilă de sticlă cu volumul $V = 5$ cm^3, lăsată liberă la suprafața apei dintr-un calorimetru cu înălțimea apei $h = 10$ cm, ajunge la fundul vasului calorimetric în $\tau = 1/4$ s. Temperatura bilei este $t_1 = 300$°C și a apei $t_2 = 10$°C. Să se calculeze temperatura finală a amestecului, dacă masa calorimetrului $m_3 = 79$ g și căldura specifică $c_3 = 280$ J/kg·K, iar masa apei este $4m_3$. ($c_a = 4180$ J/kg·K). Se neglijează forțele de frecare.

3.59. Într-un cilindru orizontal cu piston se găsesc 10 l aer la temperatura $t = 27$°C și presiunea $p = 1$ atm. Să se calculeze:

a) căldura necesară ca presiunea în cilindru, cu pistonul blocat, să devină $p' = 5$ atm;

b) căldura necesară ca să se atingă temperatura de la punctul a), dacă pistonul se mișcă liber, fără frecări;

c) căldura necesară ca volumul gazului să atingă valoarea de la punctul b) la temperatura constantă inițială;

d) să se reprezinte în sistemele p-V și V-T graficele transformărilor suferite de gaz. ($\rho_{0aer} = 1{,}3$ kg/m^3, $c_v = 700$ J/kg·K)

3.60. Trei corpuri din materiale diferite, de mase m_1, m_2 și m_3, cu temperaturile $t_1 \neq t_2 \neq t_3$, se pun în contact într-un înveliș adiabatic. Să se calculeze:

a) numărul total de stări ale sistemului, față de stările inițiale ale corpurilor componente;

b) temperatura finală a sistemului.

Caz particular: corpuri identice, cu $t_1 = 2t_2$ și $t_2 = 2t_3$.

3.61. Prin serpentina unui încălzitor cu gaze circulă apă care are la intrare temperatura de 25°C și la ieșire 75°C. Consumul de gaz metan cu puterea calorică $q = 3{,}6 \cdot 10^7$ J/m^3(N), cu un randament $\eta = 60\%$, este de 0,1 m^3(N)/min. Să se calculeze viteza de circulație a apei prin serpentina de secțiune transversală $S = 5$ cm^2. Apa încălzită în 20 s se introduce într-un calorimetru cu temperatura de 20°C și capacitatea calorică $C = 500$ J/K. În calorimetru se introduce apoi o cantitate de sare de bucătărie, $m = 1/100$ kmol NaCl, cu

temperatura de 20°C. Să se calculeze căldura consumată la dizolvarea sării, cu căldura specifică c = 850 J/kg·K, dacă temperatura finală θ = 67,94°C.

3.62. Două baloane, cu volumele V_1 = 3 l și V_2 = 5 l, sunt legate între ele printr-un tub cu un robinet. Când robinetul este închis, presiunea din balonul cu volumul V_1 este p_1 = 1,5 atm și temperatura t_1 = 27°C, iar în celălalt balon, presiunea este p_2 = 0,9 atm și temperatura t_2 = –23°C. Să se calculeze:

a) temperatura și presiunea la deschiderea robinetului, după ce se realizează echilibrul termic.

b) concentrațiile moleculare ale fiecărui gaz după deschiderea robinetului. (Ambele gaze sunt biatomice.)

3.63. Se consideră sistemul de baloane din figura 32.

Balonul cu volumul V_1 = 3 l conține hidrogen cu temperatura t_1 = 27°C, la presiunea $p_1 = 8{,}314 \cdot 10^5$ Pa. El se pune în legătură cu balonul de volum V_2 = 1 l, cu ajutorul robinetului R_1, în care este vid.

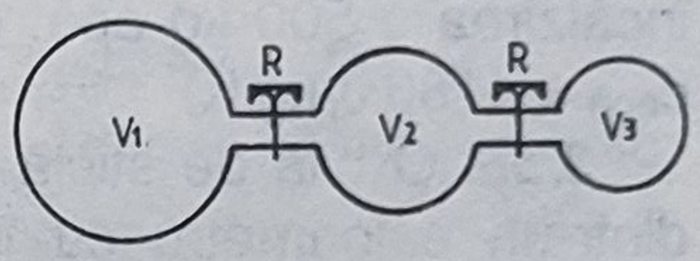


Fig. 32.

a) Să se calculeze lucrul mecanic la destinderea hidrogenului și variația energiei interne.

b) Balonul cu volumul V_3 = 1 l conține hidrogen cu un număr de molecule $N_3 = 12{,}044 \cdot 10^{22}$, cu viteza pătratică medie $\sqrt{v^2} = 10 \cdot \sqrt{49884}$ m/s. Să se calculeze presiunea finală a hidrogenului în sistemul de baloane comunicante și variația energiei interne a hidrogenului. Se neglijează capacitățile calorice ale baloanelor. (μ = 2 g/mol)

3.64. Un gaz biatomic cu volumul $V_1 = 10^{-2}$ m³, presiunea $p_1 = 10^5$ Pa și temperatura T_1 = 300 K suferă transformarea din fig. 33, unde transformarea 1 – 2 este izotermă, transformarea 2 – 3 este izocoră și transformarea 3 – 1 este adiabatică. Să se calculeze:

a) parametrii de stare în stările 1, 2 și 3;

b) lucrul mecanic în transformarea ciclică 1231;

c) randamentul ciclului de transformări.

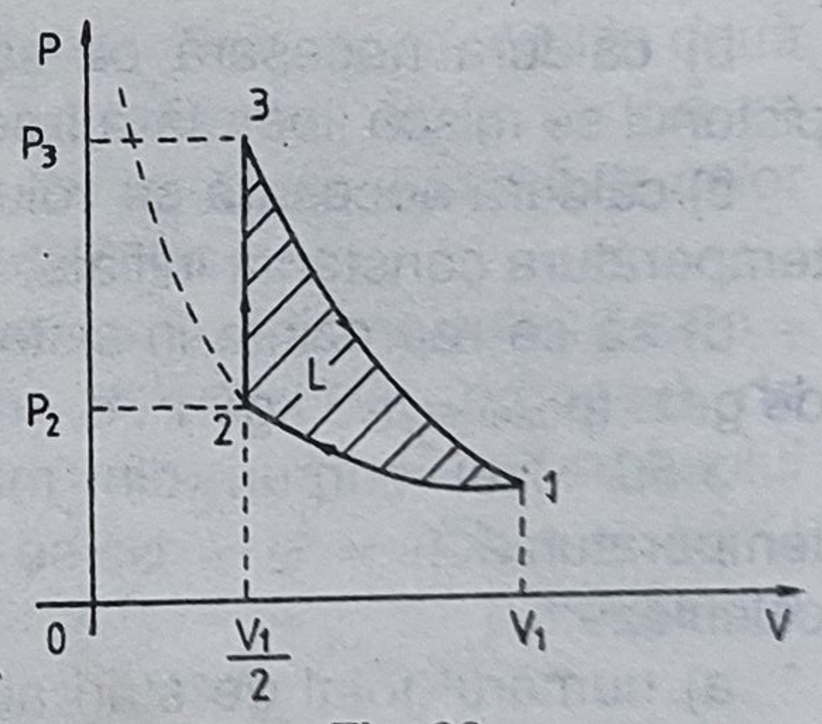


Fig. 33.

3.65. Prin serpentina unui reactor chimic de secțiune transversală S = 4 cm² se trece un curent de aer fierbinte cu viteza v = 4 m/s, care are la intrare temperatura t_1 = 400°C și la ieșire temperatura t_2 = 150°C.

Lichidul din reactor are masa m_1 = 500 kg, căldura specifică sensibilă c_1 = 1200 J/kg·K și temperatura t = 25°C.

Capacitatea calorică a vasului și serpentinei este C = 25 kJ/K.

Să se calculeze:

a) timpul în care temperatura în reactor ajunge la θ = 125°C, dacă

randamentul de încălzire cu serpentina este $\eta = 0,9$;

b) randamentul de încălzire al reactorului. (ρ_{aer} = 1,3 kg/m^3; c_{aer} = = 10^3 J/kg·grd).

3.66. Graficul variației temperaturii unui metal de masă *m* și căldură specifică sensibilă c_1 în funcție de timpul de încălzire uniformă face cu abscisa un unghi $\alpha_1 = 45^\circ$. Graficul unui alt metal de aceeași masă, folosind aceeași sursă de încălzire, face cu abscisa un unghi $\alpha_2 = 30^\circ$. Care va fi căldura specifică sensibilă a aliajului obținut din cele două metale?

3.67. Un glonte de plumb pătrunde într-un bloc din același material cu viteza v_0. Dacă raportul maselor bloc-glonte este *n*, temperatura glontelui este t_1 și a blocului t_2, să se calculeze temperatura finală a ansamblului, dacă glontele rămâne în blocul suspendat, ce poate intra în oscilație.

3.68. Un corp cu masa *m* se aruncă, cu viteza inițială $v_0 = 100$ m/s, pe un plan înclinat de unghi $\alpha = 30^\circ$, paralel cu planul, și-l părăsește cu jumătate din energia cinetică inițială. Dacă planul are lungimea l = 50 m, să se calculeze:

a) coeficientul de frecare dintre corp și plan;

b) variația de temperatură a corpului, dacă c = 200 J·kg^{-1}·K^{-1} și corpul reține toată căldura rezultată;

c) pentru ce înclinare a planului variația de temperatură este minimă și care este valoarea ei;

d) căldura specifică la volum constant, dacă $c_p = c$, $\gamma = 10^{-5}$ grd^{-1} și presiunea atmosferică este normală.

3.69. Un cilindru cu piston conține m = 0,1 kg azot la presiunea $p_1 = 3 \cdot 10^5$ Pa și temperatura $t_1 = 27^\circ$C. Gazul se destinde adiabatic până la dublarea volumului și apoi se destinde izobar până la temperatura t_1. Prin comprimare izotermă, gazul revine la starea inițială. Să se calculeze:

a) parametrii gazului pentru cele trei stări;

b) lucrul mecanic schimbat de gaz cu exteriorul în transformarea ciclică 1231;

c) căldura schimbată de gaz cu exteriorul la realizarea ciclului.

3.70. Un gaz are căldura specifică sensibilă la volum constant c_v = = 652 J/kg·K și la presiune constantă $c_p = 912$ J/kg·K. Să se stabilească masa moleculară a gazului și numărul gradelor de libertate.

3.71. Un gaz perfect, cu volumul inițial V_1, se dilată și volumul său devine V_2. Dilatarea este: 1) izobară; 2) izotermă; 3) adiabatică. Să se traseze diagramele p–V și U–V ale acestor transformări. Să se deducă din diagrame:

a) în care din diagrame lucrul mecanic produs de gaz este minim;

b) semnul variației energiei interne pentru fiecare transformare.

3.72. Un kilomol de oxigen efectuează un ciclu Carnot între temperaturile t_1 = = 27°C și $t_2 = 327^\circ$C. Raportul dintre presiunea maximă, p_{max}, atinsă în cursul ciclului și presiunea minimă atinsă, p_{min}, este egal cu 20.

Să se calculeze:

a) randamentul η_c al ciclului de transformări;

b) căldura primită în cadrul unui ciclu și căldura cedată sursei reci în acest caz;

c) lucrul mecanic efectuat de gaz în cadrul unui ciclu și randamentul η al ciclului.

3.73. Un cilindru vertical, închis cu ajutorul unui piston de masă m și de arie a secțiunii transversale S, conține 1 kmol dintr-un gaz. Inițial, presiunea gazului este echilibrată de presiunea datorată greutății pistonului și presiunii atmosferice p_0. Se ridică pistonul suficient de lent pentru ca temperatura gazului din cilindru, T, să rămână practic constantă. Să se calculeze lucrul mecanic:

a) pentru ridicarea pistonului la înălțimea h;

b) pentru dublarea volumului gazului.

Pistonul se mișcă în cilindru fără frecare.

3.74. Când un sistem a trecut de la starea i la starea f (fig. 34) de-a lungul drumului i-a-f, s-a găsit că valoarea căldurii schimbate cu exteriorul este $Q_{i\text{-}a\text{-}f} = 50$ cal și a lucrului mecanic $L_{i\text{-}a\text{-}f} = 20$ cal. De-a lungul drumului i-b-f, $Q_{i\text{-}b\text{-}f} = 36$ cal.

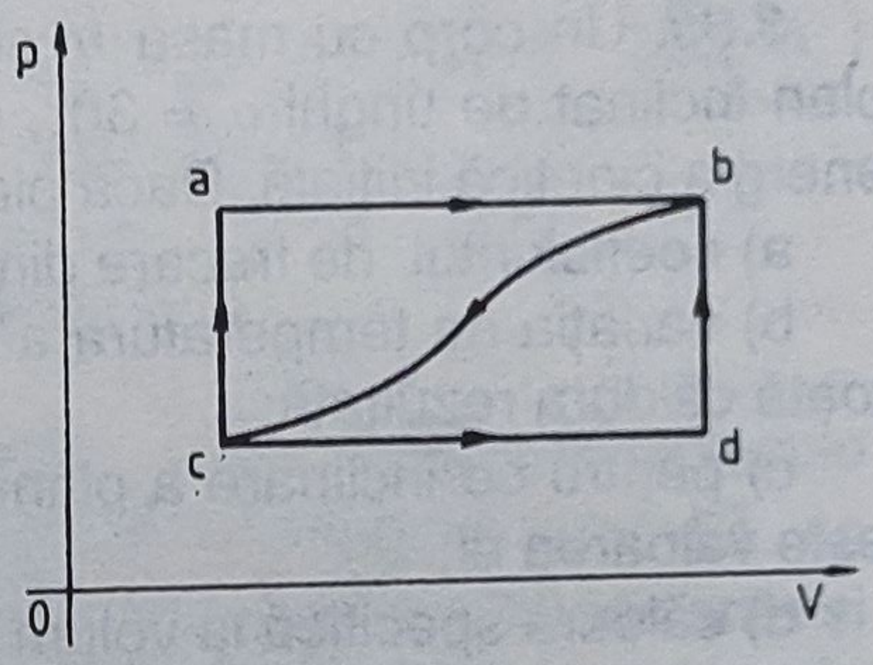


Fig. 34.

Să se calculeze:

a) care este valoarea lucrului mecanic w, efectuat de-a lungul drumului i-b-f;

b) dacă lucrul mecanic de întoarcere pe drumul curbat f-i este $w = -13$ cal, care este căldura pentru acest drum;

c) energia internă în punctul final U_f, dacă energia internă în punctul inițial i este $U_i = 10$ cal;

d) căldura pentru procesele i-b și b-f, dacă $U_b = 22$ cal.

3.75. Transformările suferite de un gaz se văd în fig. 35.

Să se stabilească prin calcul care dintre curbe corespund unei transformări izoterme și care uneia adiabatice. Care este raportul lucrurilor mecanice la destinderea gazului, prin cele două transformări, de la volumul V la $2V$? ($C_v = 5/2$ R)

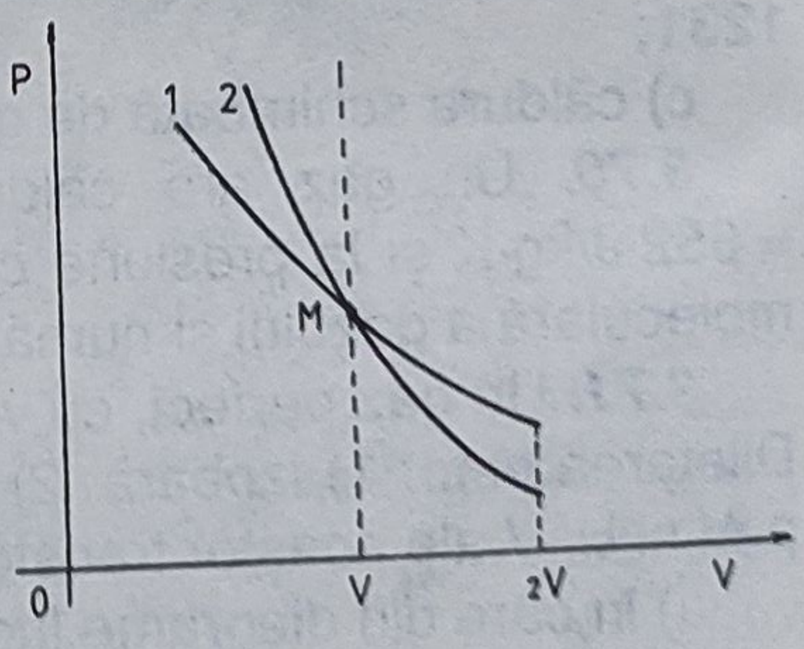


Fig. 35.

3.76. Un gaz perfect cu presiunea $p = 8 \cdot 10^6$ Pa este încălzit izobar astfel încât densitatea sa se micșorează de $n = 4$ ori. Dacă prin încălzire primește căldura $Q = 84$ J, să se calculeze volumul gazului, V', în starea finală, dacă exponentul adiabatic $\gamma = 1{,}4$.

3.77. Un corp de pompă conține gaz perfect, cu densitatea ρ, la presiunea p.

Să se calculeze:

a) presiunea p' din corpul de pompă, dacă, menținând constante tempe-

ratura și volumul, a fost eliminată o cantitate de gaz astfel încât densitatea a scăzut cu $\Delta\rho$;

b) lucrul mecanic L efectuat, dacă, după transformarea de la punctul a), gazul se destinde izobar, variația de energie internă în acest proces fiind ΔU. Se cunosc constanta universală a gazelor, R, și căldura molară la volum constant, C_v.

3.78. Trei moli de gaz ideal monoatomic suferă ciclul de transformări indicat în figura 36.

Dacă se cunosc: $T_1 = 400$ K, $T_2 = 800$ K, $T_3 = 2400$ K și $T_4 = 1200$ K, să se calculeze:

a) lucrul mecanic realizat în cadrul unui ciclu;

b) căldura schimbată de gaz cu exteriorul într-un ciclu de transformări;

c) randamentul ciclului de transformări.

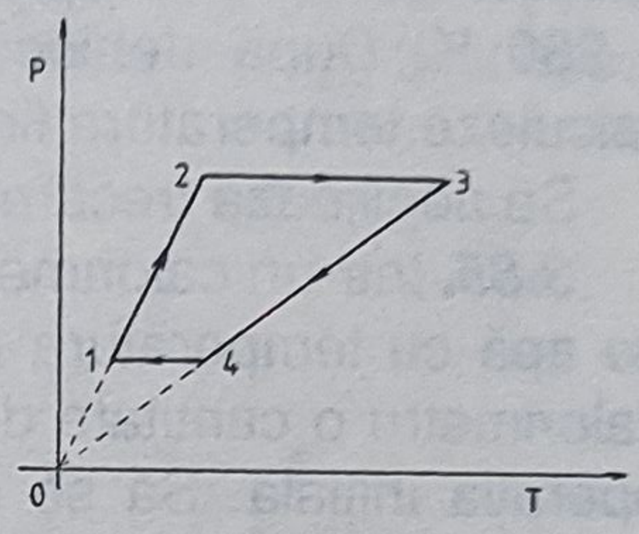


Fig. 36.

3.79. Într-un cilindru cu piston se află un gaz ideal. Pistonul are masa M și aria secțiunii transversale S. Ce căldură trebuie transmisă gazului în unitatea de timp pentru ca pistonul să urce uniform cu viteza v? Presiunea atmosferică este p_0 și forța de frecare piston - cilindru este F_f.

3.80. O placă metalică, având dimensiunile L x l = 8 cm x 12 cm, este perforată cu ajutorul unui burghiu care are pasul h = 0,5 mm și momentul forței rezistente $\mathfrak{M}$ = 12 Nm. O placă identică, cu temperatura $t_1 = 80^\circ$C, introdusă într-o masă egală de apă, cu temperatura $t_2 = 20^\circ$C, ajunge la temperatura finală $\theta = 26^\circ$C.

Să se calculeze variația de temperatură a plăcii la perforare, dacă ea reține 50% din căldură în urma procesului de găurire. Densitatea plăcii este $\rho = 7{,}7$ g/cm^3.

3.81. Un mol de gaz ideal trece izocor din starea 1 în starea 2, cu o presiune $p_2 = p_1/n$, apoi se încălzește izobar până ajunge la aceeași temperatură și, prin comprimare izotermă, ajunge în starea 1. Să se calculeze:

a) temperatura inițială T_1, dacă, în procesul 1-2-3, lucrul mecanic efectuat de gaz este L = 830 J, pentru n = 1,5;

b) căldura schimbată de gaz cu exteriorul în ciclul 1-2-3-1;

c) lucrul mecanic primit de gaz.

3.82. Într-un cilindru orizontal prevăzut cu piston mobil se găsește azot, care inițial, are volumul $V_1 = 0{,}1$ m^3 și se destinde după legea $p = a \cdot V$ până la dublarea volumului. Să se calculeze:

a) lucrul mecanic efectuat de gaz;

b) variația energiei interne în acest proces;

c) căldura primită de gaz în cursul transformării;

d) căldura molară în această transformare, dacă $a = 2 \cdot 10^7$ N/m^5.

3.83. Să se calculeze căldura molară a unui gaz în procesele izoterm, izobar, izocor și adiabatic.

3.84. Un cilindru izolat de exterior este împărțit în două compartimente cu ajutorul unui piston mobil termoconductor. La blocarea pistonului, primul compartiment, cu volumul $V_1 = 4$ l, cuprinde un gaz la presiunea $p_1 = 3$ atm și temperatura $T_1 = 400$ K. În compartimentul al doilea, cu volumul $V_2 = 12$ l, se găsește gaz de aceeași natură, la presiunea $p_2 = 2$ atm și temperatura $T_2 = 280$ K. După deblocarea pistonului și realizarea echilibrului termic, să se calculeze temperatura finală, T, a gazului și presiunea finală.

Se neglijează frecarea pistonului la mișcarea în cilindru.

3.85. Într-un calorimetru cu apă la temperatura t_0 se adaugă o cantitate egală de apă cu temperatura $t_1 > t_0$. După stabilirea echilibrului termic se scoate din calorimetru o cantitate de apă egală cu cea adăugată. După aceasta se repetă operația inițială. Să se calculeze cât devine temperatura apei din calorimetru după n asemenea operații, dacă se neglijează capacitatea calorică a calorimetrului. Aplicație: $t_0 = 0°C$; $t_1 = 64°C$; $n = 4$.

3.86. Doi moli de gaz biatomic, cu temperatura $t_1 = 117°C$, se destind adiabatic cu dublarea volumului. Să se calculeze:

a) lucrul mecanic în procesul de destindere a gazului;

b) temperatura atinsă de gaz după destindere.

3.87. Un amestec de oxigen și azot, fiecare cu masa m, la temperatura $t = 627°C$, are presiunea $p = 10^5$ Pa. Să se calculeze:

a) presiunile parțiale ale fiecărui gaz din amestec;

b) temperatura amestecului după destinderea adiabatică, dacă volumul final $V_2 = n \cdot V_1 = n \cdot V$, unde $n = 32$.

3.88. O cantitate $\nu = 2$ moli de gaz perfect cu $\gamma = 1,4$ și $R = 8310$ J/kmol·K, suferă o transformare ciclică corespunzătoare celei din figura 37, unde $V_1 = 12,3$ l, $V_4 = 24,6$ l, $p_1 = 200$ kPa și $p_2 = 300$ kPa. Să se determine:

a) temperaturile gazului în cele patru stări;

b) variația energiei interne în procesul 2-3 și lucrul mecanic în procesul 4-1.

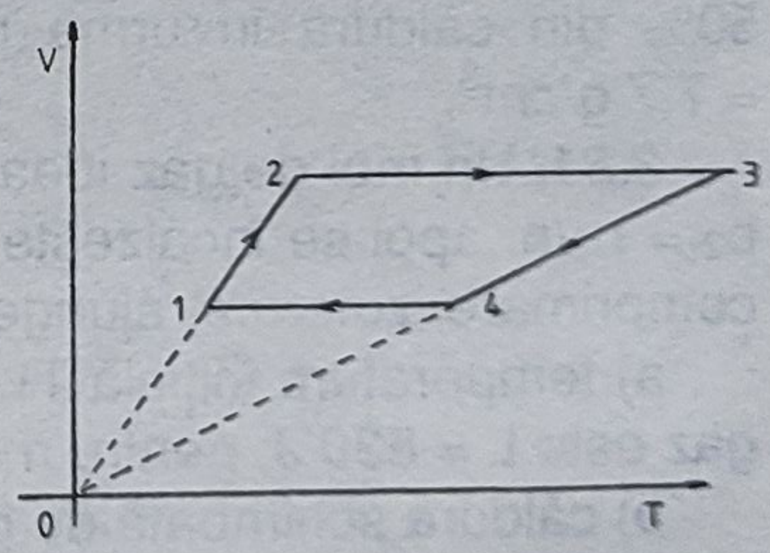


Fig. 37.

3.89. Azotul dintr-un recipient are presiunea $p_1 = 60$ kPa și concentrația moleculară $n = 2,4 \cdot 10^{25}$ m^{-3}. Prin încălzire, viteza termică a moleculelor devine $v_{T2} = 600$ m/s. Să se calculeze:

a) căldura consumată la încălzirea unui mol de azot în condițiile date;

b) densitatea azotului din recipient.

3.90. Un corp cu căldura specifică $c = 400$ J/kg·K este aruncat pe un plan înclinat în sus, paralel cu planul, cu viteza $v_0 = 20$ m/s. Dacă coeficientul de frecare este $\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$, să se calculeze variația de temperatură suferită de corp, când unghiul de înclinare corespunde spațiului maxim străbătut de corp până la

oprire.

Corpul reține 80% din căldura rezultată în acest proces.

3.91. O bilă de oțel cade liber pe o platformă de beton de la înălțimea h = = 20 m. La prima ricoșare, ea urcă până la înălțimea $h_2 = 1$ m. În timpul ciocnirii: a) s-a transmis căldură bilei? b) a fost efectuat lucru mecanic asupra ei? c) a variat energia sa internă? Dacă da, cu cât și cât a variat temperatura bilei după prima ciocnire?

4. Principiul al doilea al termodinamicii

Considerații teoretice

Când un sistem termodinamic efectuează o transformare ciclică, atunci, conform principiului întâi al termodinamicii:

$$\Delta U = 0; L = Q \qquad (1)$$

Dacă $L = Q > 0$ – sistemul primește căldură și cedează lucru mecanic în exterior la fiecare repetare a transformării ciclice –, dispozitivul este numit *mașină termică*.

Mașina termică folosită pentru a produce lucru mecanic se numește *motor termic*.

În funcționarea mașinilor termice se impune existența a două surse de căldură: *sursa caldă* și *sursa rece* și, deci, o cădere de temperatură.

Căldura absorbită de substanța de lucru a unui motor termic de la sursa caldă, cu temperatura T_1 (T_{cald}), este $Q_{cald} = Q_1 > 0$.

Căldura schimbată de substanța de lucru cu sursa rece, cu temperatura T_2 (T_{rece}), este $Q_{rece} = Q_2 < 0$.

Transformările de energie dintr-un motor termic se reprezintă schematic prin diagrama fluxului de energie din figura 38.

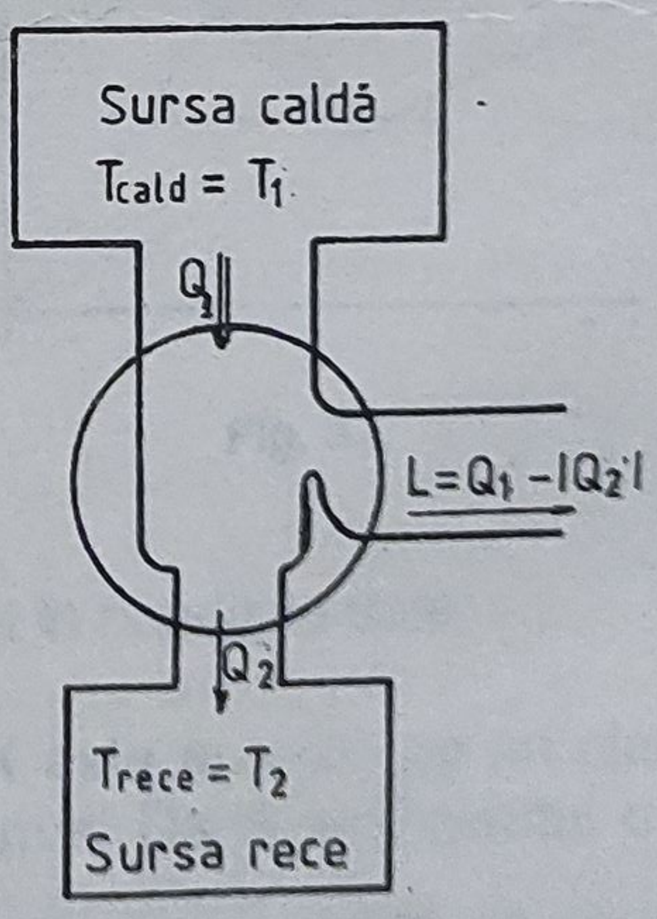


Fig. 38.

Căldura absorbită, Q_1, se obține de la un combustibil prin ardere. Căldura cedată, Q_2, are o valoare economică restrânsă. Lucrul mecanic util al motorului, efectuat de substanța de lucru pe un ciclu, este, conform principiului întâi al termodinamicii:

$$L = Q = Q_{cald} + Q_{rece} = Q_1 - |Q_2| \qquad (2)$$

Randamentul termic al unui ciclu de transformări se exprimă prin raportul dintre lucrul mecanic util și căldura absorbită:

$$\eta = L/Q_{cald} = (Q_{cald} + Q_{rece})/Q_{cald} = (Q_1 - |Q_2|)/Q_1$$

Din cauza frecărilor, lucrul mecanic util produs de motor este mai mic decât L și randamentul global este mai mic decât randamentul termic.

Un motor termic ideal de randament maxim este motorul Carnot. Ciclul Carnot este alcătuit din două izoterme și două adiabate. Căldura absorbită (Q_1) este furnizată la o singură temperatură înaltă (T_1) și toată căldura cedată (Q_2) este transferată la o singură temperatură scăzută (T_2). Procesele în motorul Carnot sunt reversibile cvasistatice (fig. 39).

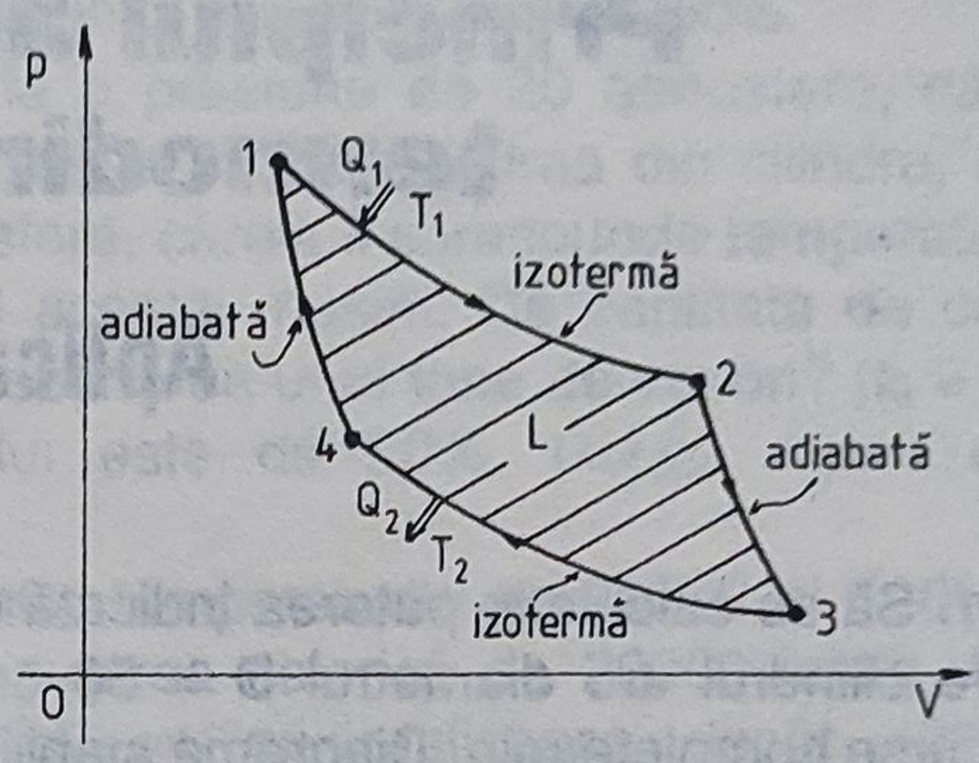


Fig. 39.

Randamentul unui motor Carnot este:

$$\eta_c = (Q_1 - |Q_2|)/ Q_1 = (T_1 - T_2)/ T_1 \qquad (3)$$

Din primul principiu al termodinamicii am văzut că sistemele sunt caracterizate de energia internă U și variația ei este măsurată prin Q – L.

O altă mărime care poate fi definită asemănător este *entropia*, notată cu S.

Matematic, variația ei se exprimă prin relația:

$$S_2 - S_1 = \Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \text{ (de-a lungul oricărui drum reversibil)} \qquad (4)$$

Entropia este o mărime aditivă și are unitatea de măsură $[S]_{SI} = J/K$.

Folosind entropia se poate enunța principiul al doilea al termodinamicii, astfel:

Dacă se consideră toate sistemele care iau parte la un proces, entropia rămâne constantă sau crește.

Deci: *Un proces natural care pornește dintr-o stare de echilibru și se termină într-o altă stare de echilibru se va desfășura în sensul care duce la o creștere a entropiei sistemului plus mediului.*

Principiul al doilea al termodinamicii

Aplicații

4.1. Să se calculeze puterea indicată de o mașină cu vapori monocilindrică, în care cilindrul are diametrul D = 50 cm, cursa este l = 76 cm și face n = = 60 curse complete/min. Diagrama stabilită de indicatorul Watt (diagrama reală) este cea din figura 40. Randamentul mecanic al mașinii este $\eta = 80\%$.

Rezolvare. Puterea indicată de mașină este:

$$P_t = (p_m \cdot A \cdot 2 \cdot l \cdot n/60)\ W$$

unde:

$$A = \pi D^2/4 = \pi 50^2/4 = 1962{,}5\ cm^2$$

Presiunea medie se calculează din diagramă, măsurând ordonatele 11', 22', 33' etc., 6 mm măsurați pe ordo- nată reprezentând 9,8 N/cm^2.

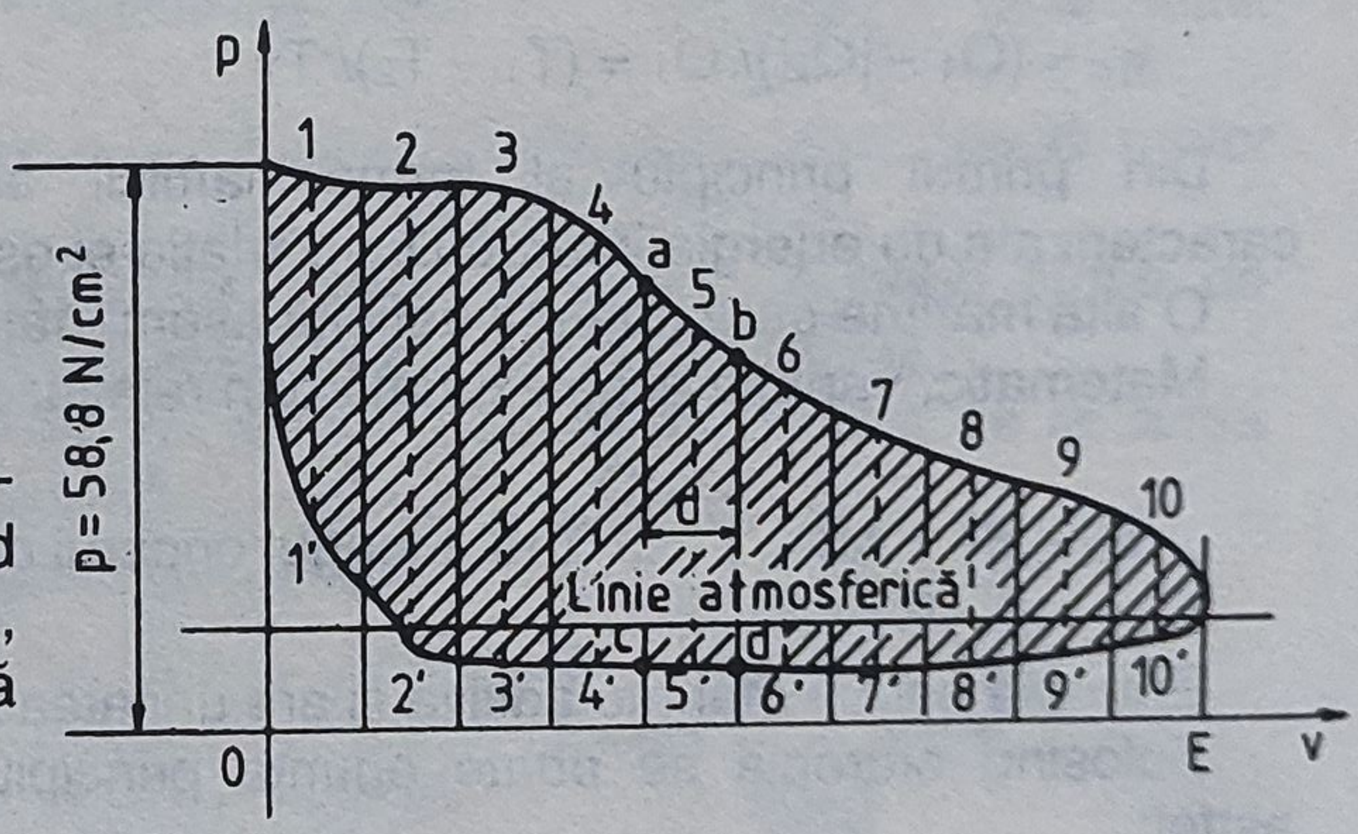


Fig. 40.

Deci, presiunea medie va fi

$$p_m = 1/10 \cdot (11' + 2\ 2' + \ldots + 10\ 10') \cdot 1/6 \cdot 9{,}8\ N/cm^2.$$

Prin măsurare, se obține:

$$P_m = (3{,}73 + 4{,}93 + 5{,}00 + 4{,}54 + 3{,}46 + 2{,}86 + 2{,}40 + 2{,}00 + 1{,}60 + 1{,}13) \cdot 9{,}8/10 = 31{,}017\ N/cm^2$$

Deci: $P_t = 31{,}017 N/cm^2 \times 1962{,}5\ cm^2 \times 0{,}76\ m \cdot 90/30\ s = 137026\ W$

Puterea utilă va fi $P_u = P_t \cdot \eta = 137026 \cdot 0{,}8 = 109620{,}8\ W$.

4.2. Într-o mașină termică cu acțiune dublă, presiunea medie a vaporilor este de 2 at. Diametrul pistonului este D = 50 cm. Diametrul cozii pistonului este d = = 6 cm. Cursa pistonului este l = 100 cm. Randamentul mecanic al mașinii este de 85%. Să se afle: a) puterea mașinii în cazul când aceasta face 150 rot/min; b) momentul mecanic rezistent pe care-l poate învinge.

4.3. Printr-o turbină cu abur trec 10 kg de abur într-o secundă. Un kilogram de abur conține la intrare 2 787 224 J, iar la ieșire conține 2 689 740 J. Să se calculeze puterea turbinei, dacă randamentul mecanic este de 90%.

4.4. O mașină cu abur lucrează la o presiune de 20 atmosfere, căreia îi corespunde o temperatură a aburului de 213°C. La ieșirea din cilindru, aburul mai păstrează presiunea de 1,5 atmosfere, căreia îi corespunde temperatura de 111°C. Să se calculeze randamentul acestei mașini. Ce cantitate de cărbuni ($q = 3 \cdot 10^7$ J/kg) este necesară pentru obținerea unei tone de vapori? ($t_0 = 10°C$; $t = 130°C$) Randamentul încălzitorului este de 30%. ($\lambda_{v130} = 2174{,}14$ kJ/kg; $c_{apă} = 4180$ J/kg·K).

4.5. O mașină termică lucrează între temperaturile de 327°C și 100°C. Ea consumă pe oră 140 kg cărbuni cu puterea calorică de 29260 kJ/kg. Să se calculeze: a) randamentul real, dacă ea nu realizează decât 40% din randamentul teoretic; b) energia debitată într-o oră, dacă generatorul de vapori primește de la sistemul de încălzire 70% din căldura de ardere; c) puterea mașinii în CP și în kW.

4.6. O mașină cu vapori are o putere de $\frac{20000}{3}$ W și primește în condensator într-o secundă o cantitate de căldură echivalentă cu 20000 J. Randamentul care se calculează după aceste date (randamentul teoretic) este 9/10 din randamentul maxim al mașinii, care urmează ciclul Carnot. Se cere temperatura sursei reci, cea a sursei calde fiind de 140°C.

4.7. Pistonul unei mașini cu vapori cu dublu efect are aria secțiunii de 500 cm^2 și cursa de 60 cm. Vaporii sunt admiși la presiunea de 10,2 at. La sfârșitul cursei, cilindrul este pus în legătură cu un condensator (se neglijează presiunea din condensator). Se cer: a) puterea dezvoltată de mașină, știind că pistonul face 150 curse complete pe minut; b) greutatea vaporilor consumați pe oră și pe kilowatt, vaporii admiși în cilindru având o masă specifică de 5,2 kg/m^3; c) randamentul termic al mașinii, știind că, pentru un consum de 1 kg vapori, căldura totală pe care trebuie s-o furnizeze încălzitorul este egală cu 2591,6 kJ; d) randamentul său teoretic, știind că încălzitorul și condensatorul sunt, respectiv, la temperaturile de 180°C și 40°C.

4.8. O locomotivă Diesel cu șase osii are masa de 114 t și o putere de 2100 CP, atingând viteza de 100 km/h. Drept combustibil folosește motorina ($q = 41800$ kJ/kg), consumând 175 $\frac{g}{CP \cdot h}$. Să se calculeze: a) presiunea ce o exercită pe șine, dacă suprafața de contact dintre roată și șină este de 5 cm^2;

b) ce forță de tracțiune utilă poate produce pe un drum orizontal la viteza maximă, coeficientul de frecare fiind 0,003; c) randamentul locomotivei.

4.9. Un autobuz are masa de 5820 kg și este prevăzut cu o sarcină utilă de 5180 kg. Motorul are puterea de 120 kW, consumând 30 l benzină la 100 km parcurși cu viteza maximă de 90 km/h. Să se calculeze: a) randamentul motorului; b) forța de tracțiune pe care o exercită la viteza maximă; c) cât la sută din putere folosește la urcarea unei pante de 0,1, dacă într-un minut de la plecarea din repaus atinge viteza de 43,2 km/h pe un drum cu coeficientul de frecare egal cu 0,01 ($\rho_{benzină} = 0{,}75$ g/cm^3; $q = 4{,}4 \cdot 10^4$ kJ/kg).

4.10. O pompă cu randamentul de 80% și debitul de 0,5 m^3/s refulează un lichid de densitate 1,2 g/cm^3 cu viteza de 1 m/s. Motorul cu ardere internă ce acționează pompa are randamentul de 50% și folosește combustibil cu puterea calorică de $5 \cdot 10^7$ J/kg. Să se calculeze consumul de combustibil în 24 ore. Dar ca să ridice lichidul la 5 m înălțime?

4.11. Într-un cilindru se comprimă izoterm 64 g oxigen la temperatura de 27°C de la 1 atm la 8 atm. Să se calculeze căldura cedată mediului exterior și variația entropiei sale.

4.12. Un metru cub de aer se găsește într-un cilindru cu piston de masă neglijabilă și care se mișcă fără frecare. Presiunea atmosferică este de 760 torr și temperatura de 0°C. Să se calculeze: 1°. căldura necesară încălzirii gazului până la 546°C, când: a) pistonul este imobil; b) pistonul este mobil; 2°. căldura specifică sub presiune constantă. ($\rho = 1{,}3$ kg/m^3, $c_v = 700$ J/kg·grd)

4.13. O eprubetă are volumul de 101 cm^3, limitat de un dop. Ea cuprinde 1 cm^3 eter lichid și restul aer la temperatura de 0°C. Forța de frecare dintre dop și pereții eprubetei este de 40π N, diametrul eprubetei este de 2 cm, iar presiunea atmosferică are valoarea, considerată normală, de 10^5 N/m^2. Să se calculeze: a) temperatura de încălzire a conținutului eprubetei pentru ca dopul să se deplaseze pe distanța de 1 cm; b) căldura consumată la încălzirea conținutului eprubetei până la temperatura calculată la punctul a).

($\rho_{eter} = 0{,}74$ g/cm^3, $\rho_{aer} = 1{,}3$ g/l, $c_{v(aer)} = c_{v(eter)} = 600$ J/kg·grd)

4.14. Gazul diatomic dintr-un cilindru al unei mașini termice are, în starea inițială A, $V_A = 20$ l și presiunea $p_A = 10^5$ N/m^2, suferă o transformare ciclică cu frecvența $\nu = 20$ cicluri/s, conform diagramei din figura 41, și dezvoltă o putere P = 240 kW.

Să se calculeze:

a) volumul maxim atins de gaz în transformare, dacă presiunea maximă este $p_{max} = 4\,p_A$;

b) randamentul mașinii, dacă temperatura inițială a gazului este t_A;

c) căldura cedată sursei reci în procesul

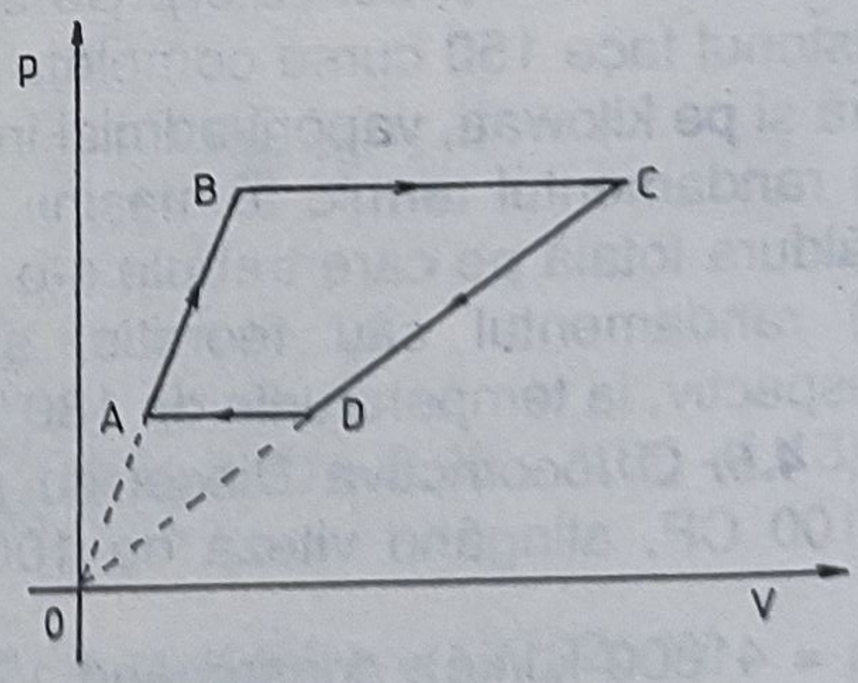


Fig. 41.

de transformări.

4.15. Un mol de gaz ideal suferă o transformare conform diagramei din figura 42. În starea inițială are temperatura $t_A = 27^oC$ și presiunea p = 1 atm.

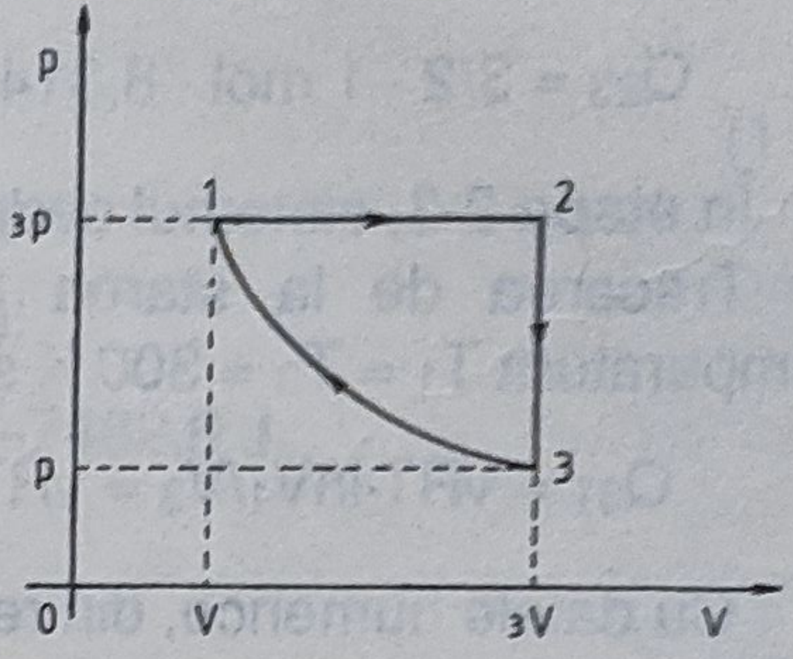


Fig. 42.

Să se stabilească:

a) în care etape ale transformării sistemul primește și, respectiv, cedează căldură și care sunt valorile lor; b) în care etape ale transformării, sistemul primește sau efectuează lucru mecanic și care sunt valorile lor;

c) variația energiei interne în fiecare etapă și variația energiei interne pe ciclu;

d) variația entropiei pe fiecare etapă și pe ciclu;

e) relația dintre căldură și lucrul mecanic pe ciclu;

f) randamentul ciclului și randamentul maxim Carnot.

Rezolvare. a) În trecerea de la starea 1 la starea 2, sistemul suferă o transformare izobară la presiunea 3p. Temperatura în starea 2 se calculează din legea Gay-Lussac:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot V_2/V_1 \qquad (1)$$

Din relația (1), valoarea numerică este:

$$T_2 = 300\ K \cdot 3V/V = 900\ K.$$

Căldura primită în această etapă a transformării este:

$$Q_{12} = \nu C_p(T_2-T_1) = \frac{5}{2}\nu R(T_2-T_1) \qquad (2)$$

Înlocuind valorile numerice în relația (2), se obține:

$$Q_{12} = 5/2\ mol \cdot 8{,}314\ J/(mol \cdot K) \cdot (900\ K - 300\ K) = 12471\ J$$

Trecerea de la starea 2 la starea 3 este izocoră și se aplică legea Charles:

$$p_2/T_2 = p_3/T_3 \Rightarrow T_3 = T_2 \cdot p_3/p_2 \qquad (3)$$

Din relația (3), valoarea temperaturii în starea 3 este:

$$T_3 = 900\ K \cdot p/3p = 300\ K.$$

Rezultă că starea 3 și starea 1 se găsesc pe aceeași izotermă și căldura schimbată cu exteriorul este:

$$Q_{23} = \nu C_v\ (T_3 - T_2) = 3/2 \cdot R\nu(T_3 - T_2) \qquad (4)$$

Folosind datele numerice, din relația (4) se obține:

$$Q_{23} = 3/2 \cdot 1 \text{ mol} \cdot 8{,}314 \text{ J/mol·K} \cdot (-600 \text{ K}) = -7482{,}6 \text{ J}$$

În etapa 2-3, sistemul cedează căldura $Q_{23} < 0$.

Trecerea de la starea 3 la starea 1 este o comprimare izotermă la temperatura $T_1 = T_3 = 300$ K și căldura este:

$$Q_{31} = \nu RT \cdot \ln V_1/V_3 = \nu RT \cdot \ln p_3/p_1 \qquad (5)$$

Cu datele numerice, din relația (5) se obține:

$$Q_{31} = 1 \text{ mol} \cdot 8{,}314 \text{ J/mol·K} \cdot 300 \text{ K} \cdot \ln V/3V = -2737{,}65 \text{ J}$$

În transformarea izotermă 3-1, sistemul cedează căldura Q_{31}.

b) În trecerea de la starea 1 la starea 2, sistemul se dilată izobar la presiunea 3p și efectuează lucrul mecanic L_{12}:

$$L_{12} = 3p(3V - V) = 6pV \qquad (6)$$

Volumul în starea inițială 1 se obține din ecuația de stare:

$$p_1V_1 = \nu RT_1 \Rightarrow V_1 = V = \nu RT_1/p_1 = \nu RT_1/3p \qquad (7)$$

Din relațiile (6) și (7) se obține L_{12}:

$$L_{12} = 6pV = 6p \cdot \nu RT_1/3p = 2\nu RT_1 \qquad (8)$$

Din relația (8), cu valorile numerice avem:

$$L_{12} = 2 \cdot 1 \text{ mol} \cdot 8{,}314 \text{ (J/mol·K)} \cdot 300 \text{ K} = 4988{,}4 \text{ J}$$

Lucrul mecanic în transformarea 2-3, care este o transformare izocoră, este nul.

$$L_{23} = 0$$

Trecerea de la starea 3 la starea 1 se face cu ajutorul lucrului de comprimare la temperatură constantă:

$$L_{31} = \nu RT_1 \ln V_1/V_3 = \nu RT \ln 1/3 \qquad (9)$$

Cu datele numerice, din relația (9) se obține:

$$L_{31} = 1 \text{ mol} \cdot 8{,}314 \text{ (J/mol·K)} \cdot 300 \text{ K} \cdot (-1{,}097606) = -2737{,}65 \text{ J}$$

c) Variația energiei interne la trecerea din starea 1 în starea 2 este:

$$\Delta U_{12} = \nu C_v \cdot \Delta T_{12} = (3/2) \cdot \nu R \Delta T = (3/2)\nu R(T_2 - T_1) \qquad (10)$$

Cu valorile numerice se obține:

$$\Delta U_{12} = 3/2 \cdot 1 \text{ mol} \cdot (8{,}314 \text{ J/mol·K}) \cdot 600 \text{ K} = 7482{,}6 \text{ J}.$$

Variația energiei interne la trecerea din starea 2 în starea 3 este:

$$\Delta U_{23} = \nu C_v \Delta T_{23} = \nu C_v (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) \qquad (11)$$

Înlocuind valorile numerice în relația (11), rezultă:

$$\Delta U_{23} = (3/2) \cdot 1 \text{ mol} \cdot 8{,}314 \text{ (J/mol-K)} \cdot (-600 \text{ K}) = -7482{,}6 \text{ J}$$

Transformarea 3-1 este izotermă și, deci:

$$\Delta U_{31} = 0 \qquad (12)$$

Variația energiei interne pe întregul ciclu este:

$$\Delta U = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} + \Delta U_{31} \qquad (13)$$

Din relațiile (10), (11), (12), (13) și $T_3 = T_1$ se obține:

$$\Delta U = (3/2) \cdot \nu R (T_2 - T_1) + (3/2) \cdot \nu R (T_3 - T_2) + 0 = 0$$

d) Variația entropiei la trecerea de la starea 1 la starea 2 este

$$\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \nu C_p \frac{dT}{T} = \nu C_p \int_1^2 \frac{dT}{T} = \nu C_p \ln T_2/T_1 \qquad (14)$$

Înlocuind datele numerice în relația (14), avem:

$$\Delta S_{12} = (5/2) \cdot 1 \text{ mol} \cdot 8{,}314 \text{ (J/mol-K)} \cdot \ln 3 \approx 22{,}814 \text{ J/K}$$

Variația entropiei pe etapa 2-3 este:

$$\Delta S_{23} = \int_2^3 \frac{dQ}{T} = \int_2^3 \nu C_v \frac{dT}{T} = \nu C_v \cdot \ln T_3/T_2 \qquad (15)$$

Cu valorile numerice, din relația (15) se obține:

$$\Delta S_{23} = 1 \text{ mol} \cdot (3/2) \cdot (8{,}314 \text{ J/mol-K}) \cdot (-1{,}097606) = -13{,}688 \text{ J/K}$$

Variația entropiei la trecerea din starea 3 în starea 1 este:

$$\Delta S_{31} = \int_3^1 \frac{dQ}{T} \text{ cu } T = \text{const.} \Rightarrow \Delta S_{31} = Q_{31}/T = \nu R \cdot \ln V_1/V_3 \qquad (16)$$

Din relația (16), cu valorile numerice avem:

$$\Delta S_{31} = 1 \text{ mol} \cdot 8{,}314 \text{ (J/mol-K)} \cdot (-1{,}097606) \approx -9{,}126 \text{ J/K}$$

Variația entropiei pe ciclul întreg este:

$$\Delta S = \Delta S_{12} + \Delta S_{23} + \Delta S_{31} \qquad (17)$$

Folosind valorile numerice, din relația (17) se obține:

$$\Delta S = 22{,}814 \text{ J/K} - 13{,}688 \text{ J/K} - 9{,}126 \text{ J/K} = 0$$

d) Căldura pe ciclul întreg este suma algebrică a căldurilor pe fiecare etapă, adică:

$$Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} \qquad (18)$$

Folosind valorile numerice se obține:

$$Q = 12471 \text{ J} - 7482{,}6 \text{ J} - 2737{,}65 \text{ J} = 2250{,}75 \text{ J}.$$

Analog se procedează și cu lucrul mecanic:

$$L = L_{12} + L_{23} + L_{31} \qquad (19)$$

Din relația (19), cu valorile numerice se obține:

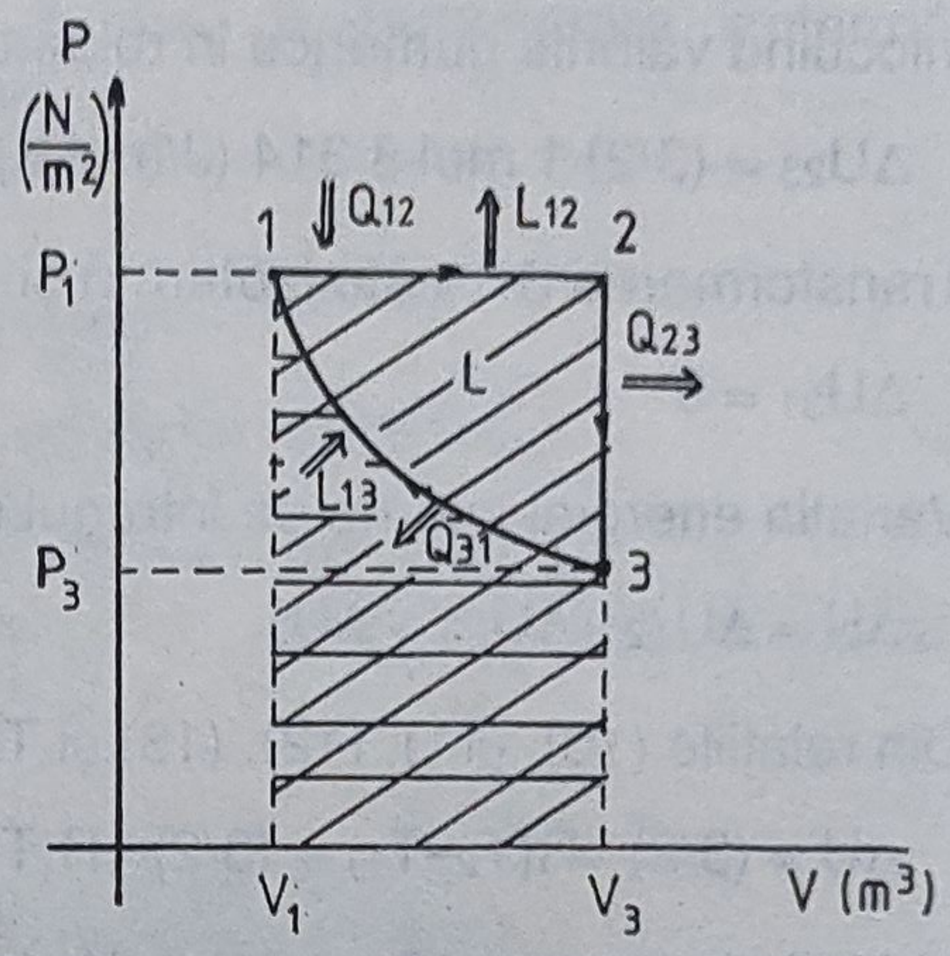


Fig. 43.

$$L = 4988{,}4 \text{ J} - 2737{,}65 \text{ J} = 2250{,}75 \text{ J}$$

Se observă că lucrul mecanic produs de sistem în transformarea ciclică este egal cu căldura totală schimbată de sistem cu exteriorul, variația energiei interne fiind nulă.

Schimburile de căldură și lucru mecanic cu exteriorul se văd în figura 43.

e) Randamentul termic al ciclului de transformări este raportul dintre lucrul mecanic efectuat de sistem într-un ciclu și căldura primită, adică:

$$\eta = L/Q_{12} \qquad (20)$$

Cu valorile calculate din relațiile (19) și (2), rezultă:

$$\eta = 2250{,}75 \text{ J}/12471 \text{ J} \approx 18{,}048\%$$

Randamentul Carnot este:

$$\eta_C = (T_2 - T_1)/T_2 = (900 \text{ K} - 300 \text{ K})/900 \text{ K} = 600/900 = 66{,}(6)\%$$

4.16. Un gaz perfect, aflat într-un cilindru cu piston etanș, suferă o transformare ciclică ABCDA, formată din două izobare și două izocore, cu $p_A < p_B$. Lucrul mecanic efectuat de gaz pe ciclu în timpul $\tau = 0{,}1$ s este $L = 10^4$ J/ciclu.

Dacă $T_B = 2T_A$ și $T_C = 2T_B$, iar presiunea maximă este $p_{max} = 10^6$ N/m², să se calculeze:

a) volumul minim în transformarea ciclică;

b) căldura cedată sursei reci în timp de o oră, dacă $c_v = 700$ J/(kg·K), $\rho_0 = 1{,}25$ kg/m^3, $\gamma = 1{,}4$);

c) randamentul termic și randamentul maxim al ciclului;

d) să se traseze ciclul de mai sus în coordonate T,p și T,V și să se calculeze masa molară a gazului și căldura specifică c_p.

4.17. O bucată de fier de masă $m_1 = 200$ g, cu temperatura $t_1 = 100°C$ este introdusă într-un calorimetru de masă neglijabilă, ce conține $m_2 = 300$ g apă la temperatura $t_2 = 12°C$. Să se calculeze variația entropiei după stabilirea echilibrului termic.

4.18. Un curent de vapori de apă cu debitul $Q = 100$ g/s circulă printr-o conductă cu secțiune variabilă. La intrare, viteza vaporilor este $v_1 = 40$ m/s, diametrul conductei la intrare este $D_1 = 20$ mm și la ieșire $D_2 = 5$ mm. Să se calculeze:

a) viteza vaporilor la ieșirea din conductă;

b) forța de reacție a jetului de vapori;

c) randamentul unei turbine ideale, dacă temperatura vaporilor la intrare este $t_1 = 400°C$ și la ieșire $t_2 = 80°C$.

4.19. Într-o transformare adiabatică, o masă de oxigen $m = 1{,}00$ kg suferă o comprimare adiabatică atunci când temperatura crește de la $t_1 = 20°C$ la $t_2 = 100°C$. Să se traseze diagrama transformării în sistemul de axe U-T și să se calculeze:

a) creșterea energiei interne a gazului, ΔU;

b) lucrul mecanic L, folosit pentru comprimarea gazului;

c) de câte ori s-a micșorat volumul gazului;

d) variația entropiei în procesul de transformare.

4.20. Un gaz perfect monoatomic cu $\nu = 2$ kmol efectuează un ciclu format dintr-o izotermă, o izobară și o izocoră. Transformarea izotermă se realizează la temperatura maximă a ciclului, $T = 400$ K. În cursul ciclului de transformări, volumul gazului variază de două ori, adică $V_{max}/V_{min} = a = 2$.

Să se calculeze: a) lucrul mecanic L realizat în cursul unui ciclu și randamentul η al ciclului; b) raportul dintre randamentul η și randamentul ciclului Carnot, η_C, efectuat între temperaturile T_{min} și T_{max} ale ciclului considerat.

4.21. În cazanul unei mașini cu abur, temperatura are valoarea $t_1 = 150°C$. Temperatura condensatorului este $t_2 = 30°C$. Care este lucrul mecanic maxim obținut prin arderea în mașină a 200 kg cărbune cu puterea calorică $q = 31{,}4$ MJ/kg, știind că randamentul mașinii este 50% din cel teoretic.

4.22. Un turism A consumă 8 l benzină la suta de km și are puterea $P_1 = 33$ kW. Un alt turism, B, consumă 9 l benzină la suta de km și are puterea $P_2 = 52$ kW.

a) Care dinter cele două mașini are randamentul mai mare și cu cât? Sunt randamente reale?

b) Ce consumuri specifice au, dacă timpul de deplasare $t = 4000$ s? Se cunosc: $d_{benzină} = 0{,}7$, $q = 5 \cdot 10^7$ J/kg.

4.23. O cantitate de aer cu masa $m = 5$ kg, care ocupă un volum $V = 4\ m^3$ la $0°C$ și presiunea atmosferică $p = 9{,}8 \cdot 10^4\ N/m^2$, suferă următoarele transformări:

a) compresie izotermă până la presiunea $p_2 = 6$ atm;

b) transformare izobară până la revenirea la volumul inițial;

c) transformare izocoră până la atingerea temperaturii inițiale.

Să se calculeze pentru fiecare transformare:

1° starea gazului la finele fiecărei transformări;

2° lucrul mecanic schimbat cu exteriorul;

3° căldura schimbată cu exteriorul;

4° variația energiei interne. ($c_v = 836$ J/kg·K)

4.24. O mașină termică consumă 2 kg combustibil cu puterea calorică $q = 4{,}5 \cdot 10^7$ J/kg în fiecare minut. Corpul gazos preia $\eta_1 = 50\%$ din căldura degajată la arderea combustibilului și intră în cilindru cu temperatura $T_1 = 573$ K. Puterea mașinii este $P = 200$ kW și are randamentul mecanic $\eta_2 = 90\%$.

Să se calculeze: a) randamentul teoretic al mașinii; b) temperatura corpului gazos în condensator, dacă randamentul teoretic este 9/10 din randamentul maxim.

4.25. O masă de gaz biatomic închisă într-un cilindru cu piston are inițial volumul $V_1 = 0{,}01\ m^3$ la presiunea $p_1 = 3 \cdot 10^5$ Pa și temperatura T_1. Gazul suferă o transformare izobară, când volumul $V_2 = 3V_1$, și se răcește izocor până la presiunea $p_3 = p_1/3$. Prin comprimare izobară trece în starea în care $V_4 = V_1$ și apoi revine în starea inițială. Să se calculeze:

a) puterea sistemului de transformări, dacă un ciclu de transformări se realizează în timpul $\tau = 1/100$ s;

b) randamentul ciclului de transformări;

c) consumul de motorină la un ciclu, dacă $q = 45$ MJ/kg;

d) randamentul Carnot al acestui ciclu.

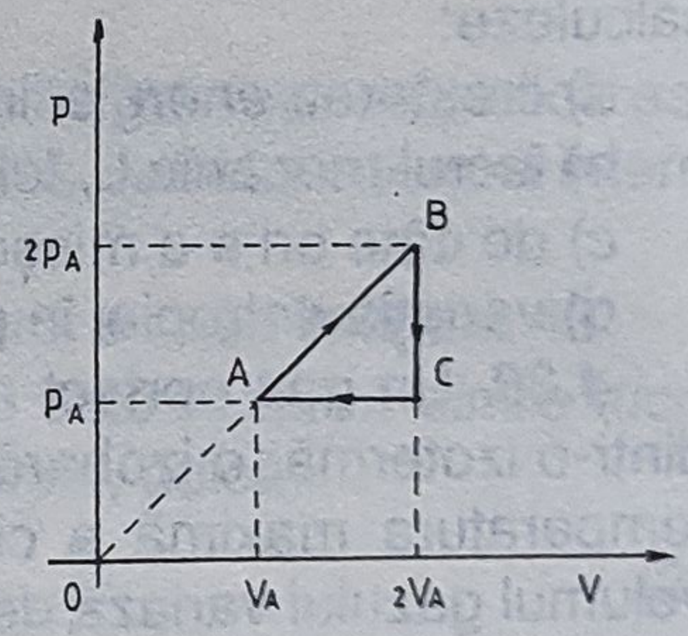


Fig. 44.

4.26. Un mol de gaz perfect parcurge ciclul din figura 44 în sens direct. În procesul izocor, căldura molară $c_v = 3/2\ R$, iar în procesul AB, $C = 2R$.

Să se calculeze:

a) lucrul mecanic schimbat de gaz cu exteriorul în efectuarea unui ciclu;

b) căldurile schimbate de sistem cu exteriorul;

c) randamentul ciclului de transformări;

d) aceleași mărimi când ciclul este parcurs în sens invers.

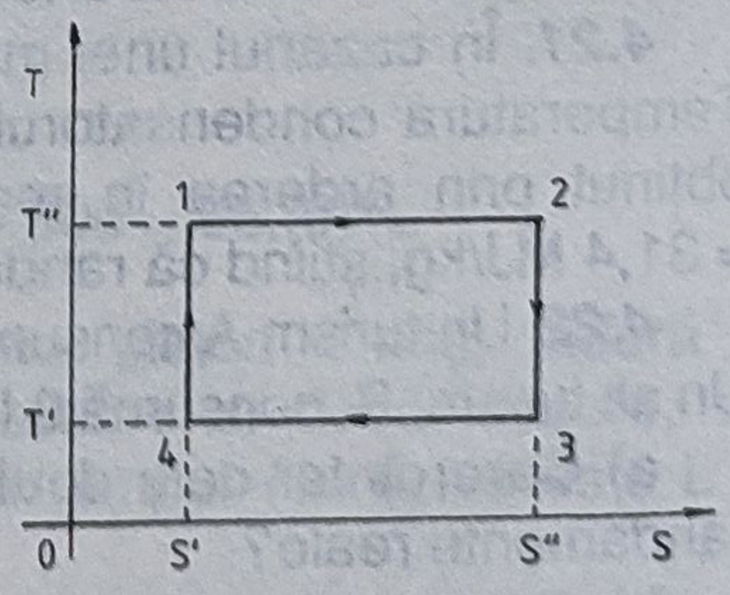


Fig. 45.

4.27. Ce transformări suferă un gaz ideal dacă descrie ciclul din figura 45, în care s-a reprezentat modul în care variază temperatura absolută T în funcție de entropia S? Ce

semnificație are ciclul? Dar aria 4 3 S'' S' de sub ciclu?

4.28. Se amestecă două gaze diferite, care nu reacționează chimic, cu volumele $V_1 = 5$ l și $V_2 = = 3$ l, care au temperatura $t = 27^{\circ}C$ și fiecare are presiunea $p = 10^5$ Pa. Să se calculeze:

a) presiunile parțiale ale gazelor;

b) variația entropiei sistemului gazos.

4.29. O mașină termică ce funcționează după un ciclu Carnot, cu diferența dintre temperaturile sursei calde și reci $\Delta T = 300$ K, are randamentul $\eta = 60\%$. Dacă puterea mașinii este $P = 18$ kW și efectuează $n = 10$ cicluri pe secundă, să se calculeze variația entropiei în destinderea izotermă și viteza pătratică medie a moleculelor gazului ideal ca substanță de lucru cu $\mu = 2$ g/mol.

4.30. Un motor termic ideal folosește ca substanță de lucru $\nu = 2$ moli azot, care, în destindere adiabatică, efectuează un lucru mecanic $L_{ad} = 4157$ J și cedează sursei reci, cu temperatura $T_2 = 350$ K, căldura $Q_2 = -3500$ J. Să se calculeze:

a) temperatura sursei calde, T_1;

b) lucrul mecanic total pentru un ciclu.

4.31. O cantitate $\nu = 1{,}00$ kmol de gaz perfect se destinde izoterm, de la presiunea p_1 la presiunea $p_2 = 480$ kPa, când entropia acestuia crește cu $\Delta S_{12} = = 8{,}31$ kJ/K, și, în continuare se destinde adiabatic până la presiunea $p_3 = = 30$ kPa efectuând un lucru mecanic $L_{23} = 7{,}48$ MJ, când temperatura gazului scade cu $\Delta T = 300$ K. Să se calculeze:

a) căldura molară izocoră și exponentul adiabatic;

b) presiunea p_1 și temperatura T_1.

4.32. O cantitate de gheață cu masa $m = 1$ kg și temperatura $t_0 = 0^{\circ}C$ se transformă în vapori la temperatura $t = 100^{\circ}C$ și presiunea normală. Să se calculeze:

a) variația entropiei apei în acest proces;

b) variația energiei interne a apei;

c) masa de combustibil consumat, cu puterea calorică $q = 10^7$ J/kg, dacă încălzitorul are un randament egal cu randamentul Carnot, cu temperaturile t_0 și t.

5. Dilatarea corpurilor. Termometrie

Considerații teoretice

Pentru studiul fenomenelor mecanice sunt necesare trei mărimi fizice fundamentale: lungime, masă și timp.

Efectele termice, numite și *fenomene calorice*, implică, pentru descrierea lor, o altă mărime fundamentală: *temperatura*. Un sistem termodinamic este caracterizat de o serie de parametri numiți *parametri de stare ai sistemului*. Se consideră două sisteme, A și B, puse în contact. Starea atinsă de ambele sisteme, stabililă când toate modificările parametrilor încetează, este numită *stare de echilibru termic*.

Două sisteme aflate în echilibru termic cu un al treilea sunt în echilibru termic între ele.

Acest postulat este numit *principiul zero al termodinamicii*. Pentru definirea echilibrului termic este necesar să deducem existența unei noi proprietăți, numită *temperatură*. Deci:

Temperatura unui sistem este acea proprietate care determină dacă el va fi sau nu în echilibru termic cu alte sisteme.

Când două sau mai multe sisteme în contact sunt în echilibru termic, se spune că ele au aceeași temperatură.

Această mărime variabilă se numește *temperatură empirică* și se notează cu *t*.

Temperatura empirică este un parametru de stare care, împreună cu parametrii de poziție, determină complet starea de echilibru termodinamic a sistemului.

Scări de temperatură

Scara Celsius folosește, ca stări termice de echilibru ce delimitează intervalul de temperatură, temperaturile de echilibru între două faze la presiune constantă,

numite *temperaturi normale*. Temperatura la care se realizează starea de echilibru între apa pură și gheață la presiunea normală se numește *temperatura normală de topire*, aleasă convențional cu valoarea zero.

Temperatura la care fierbe apa pură sub presiune normală este *temperatura normală de fierbere*, notată convențional cu 100.

Echilibrul de fază între un solid și vaporii săi este uneori posibil la presiunea atmosferică. Temperatura la care are loc acest echilibru se numește *temperatură normală de sublimare*.

Este posibil ca toate cele trei faze, solidă, lichidă și în stare de vapori, să coexiste în echilibru, dar numai la o anumită presiune și temperatură, cunoscute ca *punct triplu*.

Punctul triplu al apei se produce la 4,58 mm Hg și 0,01°C. Acest punct fix este utilizat ca etalon în termometria modernă și i s-a atribuit valoarea convențională 273,16 K (Kelvin) în scara de temperaturi Kelvin.

Scara de temperaturi Celsius are un interval de un grad de aceeași mărime ca și cel de pe scara Kelvin, dar punctul său zero este ales astfel încât temperatura Celsius a punctului triplu al apei este 0,01 grade Celsius (0,01°C).

Relația dintre temperatura pe scara Celsius notată cu *t*, și temperatura pe scara Kelvin, notată cu *T*, este:

$$t = T - 273{,}15\ K \qquad (1)$$

Există alte două scări utilizate frecvent în lume, scara Fahrenheit și scara Réaumur, pentru care valorile punctelor fixe se văd în figura 46.

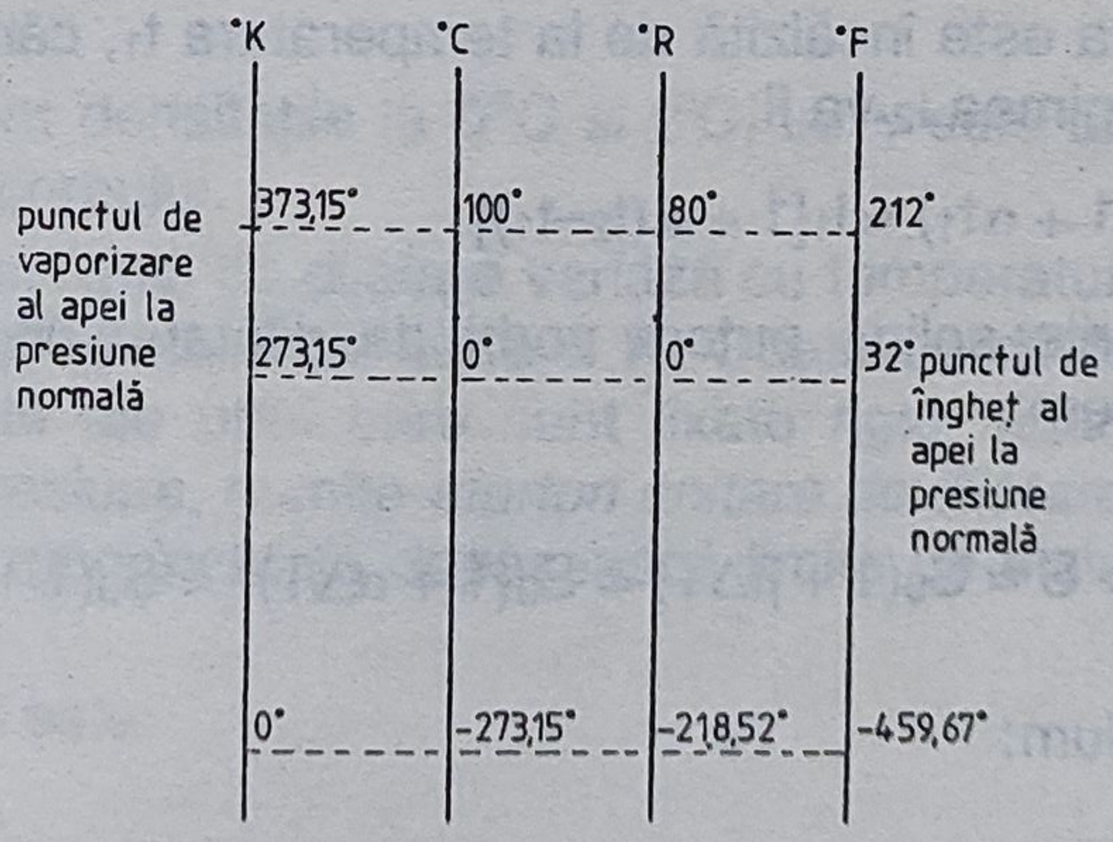


Fig. 46.

Pentru transformarea gradelor Réaumur și Fahrenheit în grade Celsius se folosesc relațiile:

$$t_C/5 = t_R/4 = (t_F - 32)/9 \Rightarrow t_C = (t_F - 32)/1{,}8;\ t_C = 5t_R/4 \qquad (2)$$

unde t_F este temperatura în grade Fahrenheit, citită la termometru; t_C și t_R

sunt temperaturile în grade Celsius și Réaumur.

Relația (1) implică:

$$T_2 - T_1 = t_2 - t_1;\ \Delta T = \Delta t \tag{3}$$

Dilatarea corpurilor. Efectul interacțiunii termice în cadrul căreia sistemul își modifică energia internă U odată cu variația temperaturii -- ceea ce duce la variație de volum -- este cunoscut ca *dilatare termică.* Deci: *Variația dimensiunilor unui corp prin variația temperaturii se numește dilatare termică.*

Când temperatura unei bare variază cu ΔT, lungimea variază cu Δl, numită *dilatare absolută.*

Dacă se raportează dilatarea absolută la lungimea inițială l_0, considerată la $T_0 = 273{,}15$ K, respectiv $t_0 = 0°C$, se obține *dilatarea relativă:*

$$\Delta l/l_0 = (l - l_0)/l_0 \tag{4}$$

Dacă se raportează dilatarea relativă la variația de temperatură la care a avut loc, se obține *dilatarea specifică liniară*, notată cu α care se numește și *coeficient de dilatare liniară*, considerându-se o valoare medie pe intervalul de temperatură Δt, deoarece variază cu temperatura:

$$\alpha = (\Delta l/l_0)(\cdot 1/\Delta T)\ (grd^{-1}) \tag{5}$$

Din relațiile (4) și (5) se deduce legea dilatării liniare:

$$l = l_0\ (1 + \alpha t) \tag{6}$$

În cazul când bara este încălzită de la temperatura t_1, când are lungimea l_1, la temperatura t_2, lungimea l_2 va fi:

$$l_2 = l_1\ (1 + \alpha t_2)/(1 + \alpha t_1) \approx l_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \tag{7}$$

Analog, la corpurile solide putem vorbi de dilatarea în suprafață. Pentru corpurile izotrope, avem:

$$\bar{\beta} \approx \beta = \frac{\Delta S}{S_0 \Delta T} \Rightarrow S = S_0(1 + \beta\Delta T) = S_0(1 + \alpha\Delta T)^2 \approx S_0(1 + 2\alpha\Delta T) \tag{8}$$

La dilatarea în volum:

$$\bar{\gamma} \approx \gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} \Rightarrow V = V_0(1 + \gamma\Delta T) = V_0(1 + \alpha\Delta T)^3 \approx V_0(1 + 3\alpha\Delta T) \tag{9}$$

Din relațiile (8) și (9) se observă că relațiile între coeficienții de dilatare la solidele izotrope sunt:

$$\beta = 2\alpha;\ \gamma = 3\alpha \tag{10}$$

S-au neglijat termenii cu α la puteri superioare unității, deoarece

$\alpha \sim 10^{-5}\ grd^{-1}$.

Volumul V_2, la temperatura t_2, al unui solid izotrop în raport cu volumul V_1, la temperatura t_1, este,

$$V_2 = V_1\,(1 + \gamma\, t_2)/(1 + \gamma\, t_1) \qquad (11)$$

Dilatarea lichidelor. Lichidele sunt sisteme materiale care nu au formă proprie. Fenomenul de dilatare constă în modificarea volumului lor. Coeficientul mediu de dilatare volumică este:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta l} \Rightarrow V = V_0\,(1 + \gamma t) \qquad (12)$$

Odată cu dilatarea lichidelor se dilată și vasul ce le conține. Atunci:

$$\Delta V_{real} = \Delta V_{aparent} + \Delta V_{vas} \Rightarrow \gamma_{real} = \gamma_{aparent} + \gamma_{vas} \qquad (13)$$

În cazul vaselor comunicante, rezultă relația:

$$h_t/h_0 = 1 + \gamma t \Rightarrow \gamma = (h_t - h_0)/h_0 t \qquad (14)$$

unde h_0 și h_t sunt înălțimile coloanelor de lichid la 0^oC și t^oC, iar γ este coeficientul mediu de dilatare al lichidului. Variația densității cu temperatura se datorează variației de volum, masa fiind considerată constantă:

$$\rho = \rho_0/(1 + \gamma t) \qquad (15)$$

unde ρ_0 și ρ sunt densitățile la 0^oC și t^oC, iar γ este coeficientul mediu de dilatare în volum al corpului.

Observație. Coeficienții de dilatare variază cu temperatura. Ei tind către zero când temperatura absolută tinde către 0 K. Odată cu dilatarea sau contracția, dacă ambele capete ale unei bare sunt fixate rigid, apar eforturi unitare de întindere sau compresiune, numite *eforturi unitare de dilatare*. Aceste eforturi pot deveni suficient de mari încât să depășească limita de elasticitate sau chiar de rupere.

Forța de dilatare este:

$$F = SE\alpha\Delta T \qquad (16)$$

Efortul unitar în material va fi:

$$\sigma = F/S = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \qquad (17)$$

unde E este modulul de elasticitate (Young).

Dilatarea corpurilor

Aplicații

5.1. O cutie de formă cubică, din cupru, cu latura $l_1 = 50$ cm la temperatura $t_1 = 30^oC$, este încălzită până la temperatura $t_2 = 500^oC$.

Dacă coeficientul mediu de dilatare liniară este $\alpha = 18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$, să se calculeze:

a) latura cubului la temperatura t_2 și variația ei;

b) aria unei fețe la temperatura t_2;

c) variația volumului cutiei și volumul la temperatura t_2.

Rezolvare. a) Din legea dilatării liniare avem:

$$l_1 = l_0(1 + \alpha t_1) \tag{1}$$

$$l_2 = l_0(1 + \alpha t_2) \tag{2}$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$l_2 = l_1\ (1 + \alpha t_2)/(1 + \alpha t_1) \tag{3}$$

$$\Delta l = l_2 - l_1 = l_0\alpha(t_2 - t_1) = l_1\alpha(t_2 - t_1)/(1 + \alpha t_1) \tag{4}$$

Din relațiile (3) și (4), cu valorile numerice, avem:

$$l_2 = 50\ cm \cdot (1 + 18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 500\ K)/\ (1 + 18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 30\ K) = (1 + 9 \cdot 10^{-3})/$$
$$/(1 + 54 \cdot 10^{-5}) \cdot 50\ cm = 50{,}422\ cm$$

$$\Delta l = 50\ cm \cdot 18 \cdot 10^{-6}\ grd^{-1} \cdot 470^oC/\ (1 + 54 \cdot 10^{-5}) =$$
$$= 846 \cdot 10^{-5}/(1 + 54 \cdot 10^{-5}) \cdot 50\ cm \approx 0{,}422\ cm$$

b) Din legea dilatării în suprafață rezultă:

$S = S_0(1 + \beta t) = S_0(1 + 2\alpha t)$ și se obține:

$$S_2 = S_1 \cdot (1 + 2\alpha t_2)/(1 + 2\alpha t_1) = l_{12} \cdot (1 + 2\alpha t_2)/(1 + 2\alpha t_1) \tag{5}$$

Din relația (5), cu valorile numerice, rezultă:

$$S_2 = 2500\ cm^2 \cdot (1 + 2 \cdot 18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 500\ K)/(1 + 2 \cdot 18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 30\ K) =$$
$$= 2500\ cm^2 \cdot (1 + 18 \cdot 10^{-3})/(1 + 108 \cdot 10^{-5}) = 2542{,}25\ cm^2$$

c) Volumul cubului la temperatura t_2, ca și cum ar fi masiv, este:

$$V_2 = V_1 \cdot (1 + \gamma t_2)/(1 + \gamma t_1) = l_{13} \cdot (1 + 3\alpha t_2)/(1 + 3\alpha t_1) \qquad (6)$$

Înlocuind valorile numerice în relația (6), se obține:

$$V_2 = 125000\ cm^3\ (1 + 3 \cdot 18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 500\ K)/(1 + 3 \cdot 18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 30\ K) =$$
$$= 125000\ cm^3\ (1 + 27 \cdot 10^{-3})/(1 + 162 \cdot 10^{-5}) = 128167\ cm^3.$$

Variația volumului cutiei este:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_1 \cdot \gamma(t_2 - t_1)/(1 + \gamma t_1) = l_{13} \cdot \gamma(t_2 - t_1)/(1 + \gamma t_1) \qquad (7)$$

Înlocuind valorile numerice, avem:

$$\Delta V = (125000\ cm^3 \cdot 54 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 470\ K)/(1 + 54 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 30\ K) =$$
$$= 125000\ cm^3 \cdot 2538 \cdot 10^{-5}/(1 + 162 \cdot 10^{-5}) = 3167{,}37\ cm^3$$

5.2. O bară masivă de cupru are la capete două proeminențe, ca în figura 47. Două fire subțiri de oțel, fixate între aceste proeminențe, sunt bine întinse (tensiune zero) când întregul sistem este la 0°C. Care este efortul unitar de întindere în firele de oțel când temperatura sistemului se ridică la 300°C? Dar valoarea forței de dilatare, dacă aria secțiunii transversale a firului de oțel este $S_0 = 1\ mm^2$? Modulul de elasticitate al oțelului este $E = 21 \cdot 10^{10}\ N/m^2$ și $\alpha_{Cu} = 18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$, $\alpha_{oțel} = 12 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$.

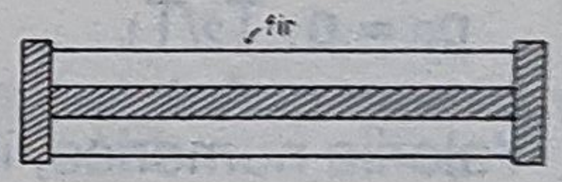


Fig. 47.

Rezolvare. Efortul unitar normal se obține din legea Hooke, aplicată la întindere, datorită forțelor de dilatare:

$$\Delta l/l_0 = (1/E) \cdot (F/S) \Rightarrow \sigma = E \cdot \Delta l/l_0 \qquad (1)$$

Alungirea Δl reprezintă diferența dintre lungimea barei de cupru la 300°C:

$$l_{Cu} = l_0(1 + \alpha_{Cu} t) \qquad (2)$$

și lungimea firului de oțel la 300°C:

$$l_{oțel} = l_0(1 + \alpha_{oțel} t) \qquad (4)$$

Din relațiile (3) și (4) avem:

$$\Delta l = l_0(\alpha_{Cu} - \alpha_{oțel}) \cdot \Delta t = l_0(\alpha_{Cu} - \alpha_{oțel}) \cdot t \qquad (5)$$

Din relațiile (1) și (5) rezultă:

$$\sigma = E \cdot l_0(\alpha_{Cu} - \alpha_{oțel})t/l_0 = Et(\alpha_{Cu} - \alpha_{oțel}) \qquad (6)$$

Înlocuind valorile numerice în relația (6), se obține:

$$\sigma = 21 \cdot 10^{10}\ N/m^2\ (18 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} - 12 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}) \cdot 300\ K = 378 \cdot 10^6\ N/m^2$$

Forța de dilatație este:

$$F = ES\Delta T(\alpha_{Cu} - \alpha_{oțel}) = 378\ N$$

5.3. Termometrul cu gaz la volum constant din figura 48 indică o presiune corespunzătoare unei coloane de mercur de 5,0 cm, când este pus în contact cu apa la punctul triplu. Ce presiune va fi citită când termometrul va fi în contact cu apa la punctul normal de fierbere?

Rezolvare. Din legea variației presiunii unei mase de gaz la volum constant,

$$p_1/T_1 = p_2/T_2 \qquad (1)$$

se obține valoarea presiunii p_2 la temperatura de fierbere a apei la presiune normală. Din relația (1) avem:

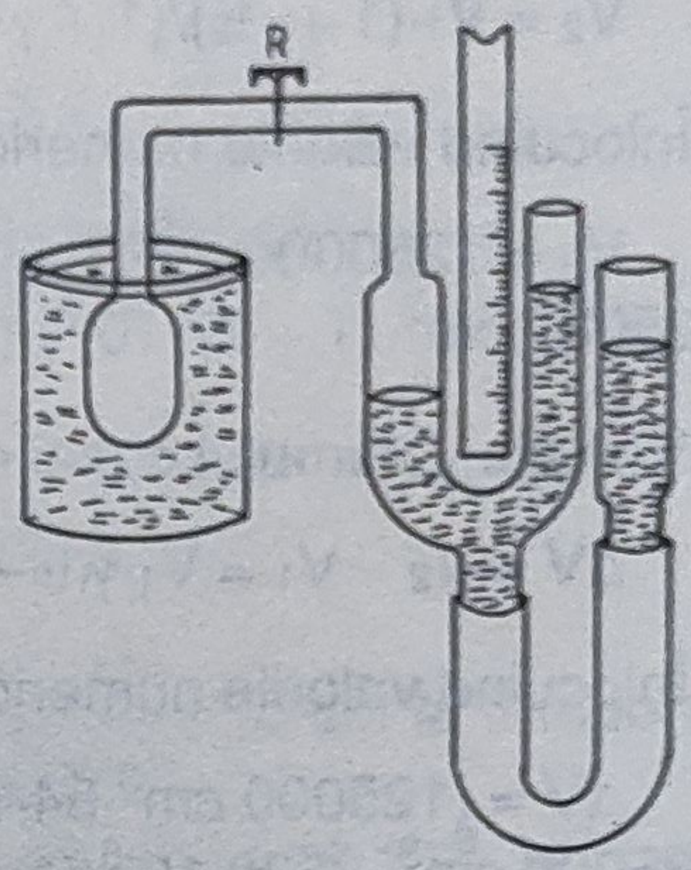


Fig. 48.

$$p_2 = p_1 \cdot T_2/T_1 \qquad (2)$$

Valorile numerice, înlocuite în relația (2), conduc la:

$$p_2 = \frac{5\ cm \cdot Hg \cdot 373{,}15\ K}{273{,}16\ K} = 6{,}83\ cm\ Hg$$

5.4. Coeficientul de dilatare în volum al cuprului în funcție de temperatura absolută este dat de relația:

$$\gamma = (43 + 0{,}022T)\ 10^{-6} K^{-1}$$

Să se calculeze fracțiunea medie din volumul inițial cu care se dilată metalul de la temperatura camerei, $T_c = 300$ K, la temperatura de topire, $T_t = 1380$ K.

Rezolvare. Din relația de definiție a coeficientului de dilatare în volum:

$$\gamma = \lim_{\Delta T \to 0} \Delta V/(V \cdot \Delta T) = dV/(VdT) \qquad (1)$$

se obține:

$$dV/V = \gamma\, dT \qquad (2)$$

Prin integrarea relației (2) rezultă fracțiunea medie din volumul inițial:

$$\Delta V/V = \int_{T_c}^{T_t} \gamma \, dT = \int_{T_c}^{T_t} 10^{-6}(43 + 0{,}022)\, dT$$

$$\Delta V/V = \int_{T_c}^{T_t} 10^{-6}\cdot 43 dT + \int_{T_c}^{T_T} 10^{-6}\cdot 0{,}022 T dT = \left(0{,}43(T_t - T_o) + 0{,}022\frac{T_t^2 - T_c^2}{2}\right)10^{-6}$$

Prin înlocuire se obține:

$$\Delta V/V = (0{,}43\cdot 1060 + 19356)10^{-6} = 19811{,}8\cdot 10^{-6} = 0{,}019811 \approx 1{,}98\%$$

5.5. Un balon de sticlă cu volumul 200 cm^3 este umplut cu mercur la temperatura $t_0 = 0°C$. Ce masă de mercur va curge când temperatura sistemului devine $t = 100°C$? Coeficientul de dilatare în volum al sticlei este $1{,}2\cdot 10^{-5}$ grd^{-1}, al mercurului $18\cdot 10^{-5}$ grd^{-1} și densitatea în condiții normale a mercurului este 13,6. Care este valoarea coeficientului de dilatare aparentă?

Rezolvare. Cum coeficientul de dilatare al mercurului este mai mare decât al sticlei, volumul de mercur ce curge va fi diferența volumelor mercur – balon de sticlă la 100°C, respectiv a variațiilor absolute de volum:

$$\Delta V_{curs} = V_{Hg} - V_b = \Delta V_{Hg} - \Delta V_b = V_0 t(\gamma_{Hg} - \gamma_{sticlă}) \qquad (1)$$

Masa de mercur scurs -- admițând că are temperatura t și ținând seama de relația (1) – este:

$$\Delta m = \rho \, \Delta V = \frac{\rho_0}{(1 + \gamma_{Hg}\, t)} V_0 t(\gamma_{Hg} - \gamma_{sticlă}) \qquad (2)$$

Cu valorile numerice, din relația (2) se obține:

$$\Delta m = [13{,}6\ g/cm^3/(1 + 18\cdot 10^{-6}\ K^{-1}\cdot 100\ K)]\cdot 200\ cm^3\cdot 100\ K\ (18\cdot 10^{-5}\ K^{-1} - 1{,}2\cdot 10^{-5}\ K^{-1}) = 45{,}5\ g$$

Coeficientul de dilatare aparentă rezultă din relația

$$\Delta V_{aparent} = \Delta V_{Hg} - \Delta V_b \Leftrightarrow V_0 \gamma_{aparent} \Delta T = V_0 \gamma_{Hg} \Delta T - V_0 \gamma_{sticlă} \Delta T \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \gamma_{aparent} = \gamma_{Hg} - \gamma_{sticlă} \qquad (3)$$

Cu valorile numerice, din relația (3) se obține:

$$\gamma_{aparent} = 18\cdot 10^{-5}\ K^{-1} - 1{,}2\cdot 10^{-5}\ K^{-1} = 16{,}8\cdot 10^{-5}\ K^{-1}$$

5.6. O vergea de metal cu lungimea $l_0 = 30$ cm se dilată cu $\Delta l_1 = 0{,}075$ cm când temperatura crește de la 0°C la 100°C. O vergea dintr-un alt metal cu aceeași lungime, l_0, pentru aceeași variație de temperatură se dilată cu $\Delta l_2 = 0{,}045$ cm. O a treia vergea, tot de lungime l_0, este alcătuită din porțiuni din metalele de mai sus, sudate cap la cap, și se dilată cu $\Delta l = 0{,}065$ cm între 0°C și

100°C. Să se calculeze lungimile porțiunilor din care este alcătuită noua vergea.

Rezolvare. Alungirea absolută a barei mixte este dată de relația:

$$\Delta l = l_{01}\alpha_1\Delta T + l_{02}\alpha_2\Delta T \qquad (1)$$

În relația (1), l_{01} și l_{02} reprezintă porțiunile de metale ce intră în alcătuirea vergelei mixte, de lungime l_0, unde:

$$l_0 = l_{01} + l_{02} \qquad (2)$$

Coeficienții de dilatare liniară α_1 și α_2 se obțin din dilatările absolute:

$$\Delta l_1 = l_0\alpha_1\Delta T \text{ și } \Delta l_2 = l_0\alpha_2\Delta T \qquad (3)$$

Din relațiile (1), (2) și (3) se obține sistemul:

$$\begin{cases} \Delta l = \dfrac{l_{01}\cdot\Delta l_1}{l_0} + \dfrac{l_{02}\cdot\Delta l_2}{l_0} \\ l_0 = l_{01} + l_{02} \end{cases} \qquad (4)$$

Prin rezolvarea sistemului de ecuații (4) se obține:

$$l_{01} = l_0\cdot(\Delta l - \Delta l_2)/(\Delta l_1 - \Delta l_2);\ l_{02} = l_0\cdot(\Delta l_1 - \Delta l)/(\Delta l_1 - \Delta l_2) \qquad (5)$$

Cu valorile numerice, din relațiile (5) rezultă:

$$l_{01} = 20 \text{ cm};\ l_{02} = 10 \text{ cm}.$$

5.7. Un bloc de oțel la presiunea $p_1 = 1$ atm și temperatura $t_1 = 20°C$ este menținut la volum constant. Dacă temperatura este ridicată la $t_2 = 32°C$, care va fi presiunea finală? Se cunosc $\alpha = 5/3\cdot10^{-5}$ grd^{-1} și $E = 1{,}5\cdot10^{11}$ Pa.

Rezolvare. Creșterea de volum este împiedicată de forțele de presiune din exterior, astfel ca produsul dintre volum și variația de presiune să fie egal și de semn contrar cu lucrul mecanic al forțelor de dilatare care ar determina creșterea de volum de la V la $V + \Delta V$.

$$V\cdot\Delta p = 3EV\alpha\Delta T \Rightarrow p_2 - p_1 = 3E\alpha\Delta T \qquad (1)$$

Din relația (1), avem:

$$p_2 = p_1 + 3E\alpha\Delta T$$

Folosind valorile numerice, se obține:

$$p_2 = 101325 \text{ Pa} + 8\cdot1{,}5\cdot10^{11} \text{ Pa}\cdot(5/3)\cdot10^{-5} \text{ grd}^{-1}\cdot12 \text{ grd} \approx 9{,}01\cdot10^{7} \text{ Pa}.$$

5.8. Un ceasornic cu pendul de alamă bate secunda la 0°C. a) Cu cât se va modifica mersul ceasornicului la temperatura $t = 20°C$, dacă $\alpha = 19\cdot10^{-6}$ grd^{-1}? b) Cu cât se va modifica amplitudinea, dacă la 0°C ea are valoarea $\alpha = 5°$?

Rezolvare. a) Ceasornicul la 0°C are perioada $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}} = 2$ s.

Perioada de oscilație a pendulului gravitațional, la 20°C, va fi:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (1)$$

unde:

$$l = l_0(1 + \alpha t) \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l_0(1+\alpha t)}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}}\cdot\sqrt{1+\alpha t} = T_0\sqrt{1+\alpha t} \qquad (3)$$

În matematică se demonstrează că, dacă $\alpha t << 1$, se poate scrie:

$$\sqrt{1+\alpha t} = (1+\alpha t)^{1/2} \approx 1 + \frac{\alpha}{2}\cdot t \qquad (4)$$

Din relațiile (3) și (4) avem:

$$T = T_0\left(1 + \frac{\alpha}{2}\cdot t\right) \qquad (5)$$

O oscilație simplă la 20°C durează:

$$\frac{T}{2} = \frac{T_0}{2}\left(1 + \frac{\alpha}{2}\cdot t\right) \qquad (6)$$

care, numeric, este:

$$T' = T/2 = 1 \text{ s } (1 + 19\cdot10^{-6} \text{ grd}^{-1}\cdot 20 \text{ grd})/2 = 1{,}00019 \text{ s}$$

Numărul de oscilații simple la 20°C care indică și timpul în intervalul unei zile, D, va fi:

$$N = D/T' = 24\cdot3600 \text{ s}/1{,}00019 \approx 86384 \text{ oscilații}$$

Diferența oscilațiilor pendulului în 24 ore, la trecerea de la 0°C la 20°C, va fi:

$$\Delta N = N - N_0 = 86384 - 86400 = -16$$

Deci ceasornicul rămâne în urmă cu 16 s.

b) Energia de oscilație a pendulului se consideră constantă. La 0°C, energia pendulului este egală cu energia potențială maximă.

$$E = mgl_0(1 - \cos\alpha_m) = mgl_0\cdot 2\sin^2\alpha_m/2 \qquad (1)$$

Energia la 20°C va fi:

$$E = mgl(1 - \cos\beta_m) = mgl_0(1 + \alpha t)\, 2\sin^2\beta_m/2 \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$\sin\frac{\beta_m}{2} = \sin\frac{\alpha_m}{2}\cdot\frac{1}{1+\frac{\alpha}{2}t} \qquad (3)$$

Cum unghiurile sunt de câteva grade, se pot înlocui sinusurile cu unghiurile în radiani:

$$\beta_m = \alpha_m\cdot\frac{1}{1+\frac{\alpha}{2}t}$$

$$\alpha_m = 5^\circ = (5\pi/180)\ \text{rad}$$

$$\beta_m = \frac{S}{1+\frac{\alpha}{2}t}\cdot\frac{\pi}{180} = 4{,}999\cdot\frac{\pi}{180}\cdot\ \text{rad}$$

Variația amplitudinii unghiulare va fi:

$$\beta_m - \alpha_m = -0{,}001 = -0{,}1\%$$

care este o micșorare neglijabilă.

5.9. O bară metalică, cu densitatea în condiții normale $\rho_0 = 7800\ \text{kg/m}^3$, are la temperatura $t_1 = -20^\circ\text{C}$ lungimea $l_1 = 50$ cm și aria secțiunii transversale $S_1 = 10\ \text{cm}^2$. Ea primește căldura de la un încălzitor care are un randament $\eta = 50\%$ și în care se consumă $m_0 = 20$ g petrol cu puterea calorică $q = 4{,}5\cdot10^7$ J/kg. Să se calculeze:

a) temperatura t_2 la care ajunge bara prin încălzire;

b) lucrul mecanic al forțelor de dilatare în procesul încălzirii;

c) variația presiunii exterioare pentru a împiedica deformarea.

Se cunosc: $c = 450$ J/kg·K; $\alpha = 10^{-5}\ \text{grd}^{-1}$; $E = 2\cdot10^{11}\ \text{N/m}^2$.

Rezolvare. a) Căldura acumulată de bară este căldura utilă a încălzitorului cu randamentul:

$$\eta = Q/m_0q = mc\Delta t/m_0q \qquad (1)$$

Din relația (1) se calculează temperatura t_2:

$$mc(t_2 - t_1) = \eta m_0 q \Rightarrow t_2 = t_1 + \eta m_0 q/mc \qquad (2)$$

Masa barei, m, se calculează din dimensiunile și densitatea la aceeași temperatură:

$$m = V\rho = S_1 l_1 \cdot \rho_0/(1 + 3\alpha t_1) \quad (3)$$

Prin înlocuire cu valorile numerice în relația (3), se obține valoarea masei:

$$m = 10^{-3}m^2 \cdot 5 \cdot 10^{-1}\ m \cdot 7800\ kgm^{-3}/[1 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot (-20)] = 3{,}902\ kg$$

Din relația (2) se obține valoarea temperaturii finale, t_2:

$$t_2 = -20°C + (0{,}5 \cdot 20 \cdot 10^{-3}\ kg \cdot 4{,}5 \cdot 10^{7}\ J \cdot kg^{-1})/(3{,}902\ kg \cdot 450\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}) = 236{,}28°C$$

b) Lucrul mecanic al forțelor de dilatare, ca forță ce crește liniar cu temperatura, este:

$$L = F_m \Delta l = (F/2)\Delta l \quad (4)$$

Forța de dilatare F și alungirea Δl se exprimă prin relațiile:

$$F = ES_1\alpha\Delta t \quad (5)$$

$$\Delta l = l_2 - l_1 = l_0(1 + \alpha t_2) - l_0(1 + \alpha t_1) = l_0\alpha(t_2 - t_1) = \frac{l_1}{1 + \alpha t_1} \cdot \alpha\,(t_2 - t_1) \quad (6)$$

Din relațiile (4), (5) și (6) se obține

$$L = (1/2)\, ES_1\alpha(t_2 - t_1) \cdot [l_1/(1 + \alpha t_1)] \cdot \alpha(t_2 - t_1) = (1/2)\, ES_1\alpha^2 l_1 \cdot (t_2 - t_1)^2/(1 + \alpha t_1) \quad (7)$$

Prin înlocuirea valorilor numerice în relația (7), se obține:

$$L = (1/2) \cdot 2 \cdot 10^{11}\ N/m^2 \cdot 10^{-3}\ m^2 \cdot 10^{-10}\ grd^{-2} \cdot (5 \cdot 10^{-1}\ m \cdot 256{,}28^2\ grd^2)/ /(1 + 10^{-5}\ grd^{-1} \cdot (-20)\ grd) = 328{,}5\ J$$

c) Din legea Hooke:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}; \quad (8)$$

din formula lucrului mecanic:

$$L = \Delta(pV) = V\Delta p; \quad (9)$$

și legea de variație a volumului prin dilatare:

$$\Delta V = V_0\gamma\Delta T \quad (10)$$

se obține relația de variație a presiunii:

$$\Delta p = E\gamma\Delta t \quad (11)$$

Prin înlocuirea valorilor numerice în relația (11), avem:

$$\Delta p = 2 \cdot 10^{11}(N/m^2) \cdot 3 \cdot 10^{-5}\ grd^{-1} \cdot 256{,}28\ grd = 1537{,}28\ MPa$$

5.10. O sârmă de cupru are, la 0°C, lungimea de 20 m. Să se calculeze cu cât se lungește sârma vara, la temperatura $t_1 = +40°C$, față de iarnă, la temperatura $t_2 = -30°C$ ($\alpha_{Cu} = 0{,}000018\ grd^{-1}$).

5.11. Un conductor electric aerian de lungimea l_0 la 0°C este legat de doi stâlpi situați la distanța $2a$.

Să se calculeze valoarea forței de tensiune în conductor la temperatura t°C. Se consideră conductorul omogen și cu coeficientul de dilatare liniară α.

5.12. La 0°C, o sârmă de fier are lungimea de 502 mm și alta, de cupru, de 500 mm. La ce temperatură trebuie să le încălzim pentru ca lungimile lor să devină egale? ($\alpha_{Fe} = 0{,}000012\ grd^{-1}$, $\alpha_{Cu} = 0{,}000018\ grd^{-1}$)

5.13. Un șurub de oțel cu secțiunea transversală circulară trebuie să intre perfect etanș într-un orificiu din același material, cu diametrul de 10 cm, al unei mașini cu gaz la 0°C, pentru asamblarea diferitelor piese. Prelucrarea și finisarea șurubului are loc la temperatura de 50°C. Care trebuie să fie raza cilindrului șurubului? ($\alpha_{oțel} = 0{,}000012\ grd^{-1}$).

5.14. Se consideră o balanță cu brațe egale, de lungime l_0 la 0°C, cu cele două brațe făcute din metale cu coeficienții de dilatare α_1 și α_2, unde $\alpha_1 > \alpha_2$. Greutatea pârghiei este G și centrul de greutate este la distanța h sub sprijin, pe verticală. Balanța se introduce într-un mediu cu temperatura de t°C. Să se afle:

a) unghiul cu care se va înclina pârghia; b) ce greutate trebuie pusă în unul din talere, pentru ca pârghia să devină orizontală, dacă fiecare taler are greutatea P.

5.15. O bară de aluminiu cu secțiunea $S_1 = 10\ cm^2$ și lungimea $l_1 = 2$ m la temperatura $t_1 = 20°C$ înmagazinează 594 kcal. Cu cât s-au mărit dimensiunile barei ($\rho_0 = 2{,}7\ g/cm^3$, $\alpha = 22 \cdot 10^{-6}\ grd^{-1}$, $c = 920\ J \cdot Kg^{-1} \cdot grd^{-1}$)?

5.16. O bară de fier la 0°C are secțiunea de 5 cm^2. Ea se lungește cu 0,4 mm. Să se calculeze căldura absorbită de bară ($\rho_0 = 7{,}8\ g/cm^3$). Ce putere are încălzitorul dacă randamentul său este $\eta = 80\%$ și încălzirea durează $\tau =$ = 2 minute?

5.17. O placă de cupru are la 0°C suprafața S_0. La ce temperatură suprafața ei crește cu o sutime din suprafața inițială? Ce căldură s-a consumat dacă volumul este $V_0 = 200\ cm^3$?

5.18. Două vergele, una de cositor, cu $\alpha_1 = 0{,}000023\ grd^{-1}$, și cealaltă de fier, cu $\alpha_2 = 0{,}000012\ grd^{-1}$, sunt sudate cap la cap, lungimea lor comună fiind de 5 m la temperatura de 0°C. La temperatura de 100°C, ele au lungimea de 5,0093 m. Ce lungime are fiecare din cele două vergele?

5.19. Un bloc cu masa de $2 \cdot 10^5$ kg trebuie deplasat pe orizontală pe o distanță mică. Aceasta se realizează prin împingere cu ajutorul unei bare ce se dilată, fixată cu un capăt la un zid, iar cu celălalt atingând blocul. Să se calculeze temperatura de încălzire a barei cu secțiunea de 49 cm^2. ($\mu = 0{,}4$; $E = 2 \cdot 10^{11}\ N/m^2$; $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ grd^{-1}$).

5.20. O bară metalică, cu lungimea l_0 la 0°C, este fixată la un capăt, iar cu celălalt se sprijină pe un cilindru mobil, de rază r. Cu câte grade se va roti

cilindrul, dacă bara se încălzește de la temperatura t_1 la t_2?

Aplicație: $l_0 = 1$ m, $r = 1$ cm, $\alpha = 10^{-5}$ grd^{-1}, $t_1 = -20°C$, $t_2 = 80°C$.

5.21. Șinele tramvaiului au fost sudate în timpul verii la o temperatură de +50°C. Să se afle ce rezistență se va naște în timpul iernii, la –20°C, și care este forța de întindere, dacă aria secțiunii este de 50 cm^2. ($\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ grd^{-1}; $E = 2 \cdot 10^{11}$ N/m^2)

Dilatația în volum

5.22. O bucată de plumb are, la 0°C, volumul de 100 cm^3, iar la 200°C, volumul este 101,74 cm^3. Să se calculeze coeficientul de dilatație liniară al plumbului.

Rezolvare. Se cunoaște relația dintre coeficienți:

$$\gamma = 3\alpha$$

Folosind relația dintre volum și temperatură, se obține:

$$V_t = V_0(1 + 3\alpha t)$$

sau:

$$V_t - V_0 = \Delta V = 3V_0\alpha t$$

de unde:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{3V_0 t} = \frac{101{,}74 - 100}{3 \cdot 100 \cdot 200} = 2{,}9 \cdot 10^{-6} \text{ grd}^{-1}$$

5.23. Până la ce temperatură trebuie să se încălzească o bucată de platină, de la 0°C, pentru ca volumul ei să se mărească cu 1/30 din volumul inițial? ($\alpha = 9 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1}). Câtă căldură se consumă, dacă platina are capacitatea calorică C = 2000 J/K?

Rezolvare. Din relația:

$$V_t = V_0(1 + 3\alpha t)$$

și din relația rezultată din enunțul problemei:

$$V_t = V_0 + V_0/30$$

rezultă:

$$V_0 + \frac{V_0}{30} = V_0(1 + 3\alpha t) \Rightarrow \frac{1}{30} = 3\alpha t$$

De aici:

$$t = \frac{1}{30 \cdot 3\alpha} = \frac{10^6}{810} \approx 1234^\circ C$$

$$Q = mc\Delta t = C\Delta T$$

Prin înlocuire se obține:

$$Q = 2000 \frac{J}{grd} \cdot \frac{1}{90 \cdot 9 \cdot 10^{-6} grd^{-1}} = 2469 \text{ kJ}$$

5.24. Un tub de sticlă de lungime *l* este închis la unul din capete. Să se calculeze până la ce înălțime *H* trebuie să se introducă în acest tub mercur la 0°C, pentru ca volumul neocupat de mercur să rămână constant, oricare va fi temperatura (coeficientul de dilatație al sticlei este γ; coeficientul de dilatație al mercurului este μ).

Rezolvare. Soluția I. Se notează:

A – secțiunea tubului

$V = A \cdot l$ – volumul tubului

Volumul liber va fi $V_0 = A(l - x)$.

La temperatura $t\,^0C$, volumul tubului va fi egal cu volumul conținutului plus volumul neocupat V_0.

$$V_t \text{ (al sticlei)} = V_t \text{ (conținut)} + V_0$$

sau:

$$Al(1 + \gamma t) = Ax(1 + \mu t) + A(l - x)$$

sau:

$$l(1 + \gamma t) = (1 + \mu t)x + l - x.$$

Din ultima relație rezultă valoarea lui x.

$$x = \frac{l\gamma}{\mu}$$

Soluția II

$$\Delta V_{sticlă} = \Delta V_{Hg}$$

$$Al\gamma t = Ax\mu t$$

rezultă:

$$x = \frac{l\gamma}{\mu}$$

5.25. Un vas de sticlă are capacitatea de 100 cm^3 la temperatura de 0°C. Se umple cu mercur la aceeași temperatură și se lasă liberă în mercur o bilă de fier de 1 cm^3, la 0°C. Totul se încălzește la 100°C.

Să se calculeze volumul de mercur ce curge din vas prin încălzire.

($\rho_{0Hg} = 13{,}6\ g/cm^3$, $\rho_{0Fe} = 7{,}8\ g/cm^3$, $\alpha_{Fe} = 12 \cdot 10^{-6}\ grd^{-1}$, $\alpha_{st} = 9 \cdot 10^{-6}\ grd^{-1}$, $\gamma_{Hg} = 18 \cdot 10^{-5}\ grd^{-1}$)

5.26. Prin încălzirea unei sfere de cupru cu masa *m*, volumul ei crește cu 41,2 cm^3. Să se calculeze căldura necesară pentru a se încălzi în condițiile date ($\alpha = 17 \cdot 10^{-6}$; $c = 0{,}09\ cal/g \cdot grd$; $\rho_0 = 8{,}9\ g/cm^3$).

5.27. Un vas de sticlă are, la temperatura de 0°C, volumul de 400 cm^3. Vasul se umple complet cu mercur și apoi se ridică temperatura până la 100°C. În modul acesta, curg din vas 6,12 cm^3 de mercur. Să se calculeze coeficientul de dilatație a mercurului ($\alpha_{sticlă} = 9 \cdot 10^{-6}\ grd^{-1}$).

5.28. Se iau volume diferite de eter și apă, a căror sumă la 0°C este de 947,41 cm^3. Prin încălzire până la 30°C, volumele cresc, devenind egale. Să se calculeze volumul inițial al fiecărui lichid și variațiile relative de volum produse ($\gamma_{apă} = 0{,}00018\ grd^{-1}$; $\gamma_{eter} = 0{,}0016\ grd^{-1}$).

5.29. Un vas de sticlă conține, la 0°C, o bucată de platină de 200 g și 147 g mercur. Vasul este plin. Se încălzește la 100°C și se cere cantitatea de mercur care a curs din vas. ($\rho_{Pt} = 21{,}4\ g/cm^3$; $\rho_{Hg} = 13{,}6\ g/cm^3$; $\gamma_{Pt} = 1/37700\ grd^{-1}$; $\gamma_{sticlă} = 1/38700\ grd^{-1}$; $\gamma_{Hg} = 1/5500\ grd^{-1}$).

5.30. Un termometru în scara centigrad este scufundat până la diviziunea 25 într-o baie lichidă și mercurul se ridică până la 110°C. Ce temperatură va arăta termometrul, dacă el va fi scufundat în lichidul cald până la nivelul unde s-a oprit mercurul?

Temperatura exterioară este de 15°C ($\gamma_{sticlă} = \frac{1}{6480}\ grd^{-1}$).

5.31. Un cilindru de fier plutește într-o baie de mercur astfel ca axa să fie verticală. Temperatura fiind de 0°C, cilindrul de fier se scufundă cu fracțiunea $h' = 0{,}573$ din înălțimea sa, h. Se încălzește sistemul la 100°C (fig. 49). Cu ce fracțiune din înălțimea sa, h, se va scufunda cilindrul la această temperatură? ($\alpha_{Fe} = 0{,}000012\ grd^{-1}$; $\gamma_{Hg} = 0{,}00018\ grd^{-1}$)

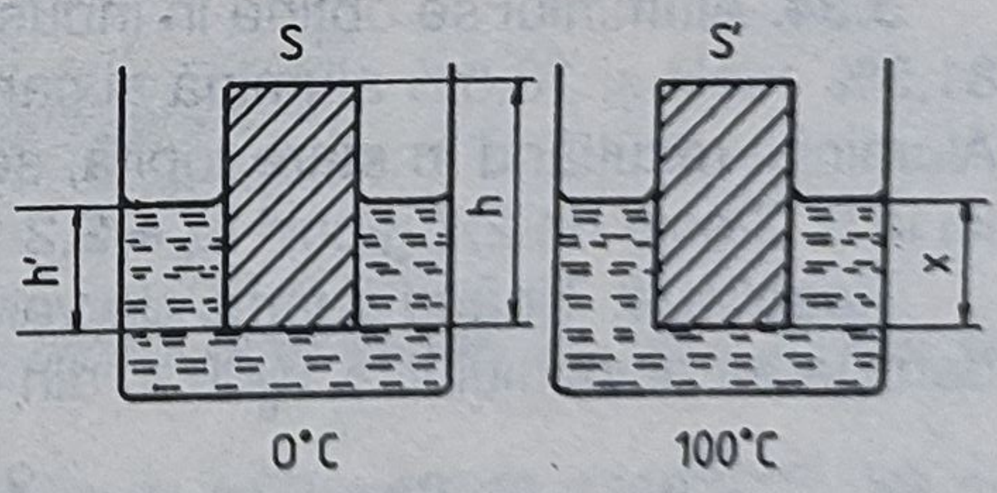


Fig. 49.

5.32. Un bidon din tablă de fier cu capacitatea de 2 l la 0°C este plin cu petrol. Să se calculeze câte grame de petrol vor curge afară dacă temperatura crește la 30°C, când: a) nu se ține seama de dilatația vasului; b) se ține seama și de dilatația vasului ($\rho_{petrol} = 0{,}8\ g/cm^3$; $\gamma_{petrol} = 0{,}001\ grd^{-1}$; $\alpha_{Fe} = 0{,}000012\ grd^{-1}$).

Variația densității cu temperatura

5.33. Să se calculeze coeficientul de dilatație cubică al petrolului, știind că la 0°C un volum cântărește 100 g, iar la temperatura de 60°C, masa aceluiași volum este de 93,75 g.

Rezolvare. Formula care dă relația dintre densitate și temperatură este:

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \gamma t} \tag{1}$$

unde:

$$\rho_0 = m_0/V \tag{2}$$

$$\rho_t = m_t/V \tag{3}$$

Înlocuind valorile densității din relațiile (2) și (3) în relația (1), se obține:

$$\frac{m_t}{V} = \frac{m_0}{V} \cdot \frac{1}{1 + \gamma} \Rightarrow m_t = \frac{m_0}{1 + \gamma t}$$

Înlocuind cu valorile numerice, se obține:

$$93{,}75 = \frac{100}{1 + 60\gamma t} \Rightarrow \gamma = 0{,}0011 \text{ grd}^{-1}$$

5.34. Aluminiul se obține în industrie prin electroliza unei topituri care conține 81,5% criolit și 18,5% alumină și care, la 1000°C, are densitatea de 2,15 g/cm^3. Aluminiul rezultând în stare topită, se va depune pe fundul băii, dacă densitatea lui la 0°C este de 2,7 g/cm^3 ($\alpha = 2{,}2 \cdot 10^{-5}$ grd^{-1})?

Rezolvare. Ținând seama de variația densității cu temperatura, putem stabili densitatea aluminiului la 1000°C din relația:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \gamma t} = \frac{\rho_0}{1 + 3\alpha t} = \frac{2{,}7}{1 + 3 \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3} = 2{,}53 \text{ g/cm}^3$$

Deci aluminiul topit se va depune, deoarece densitatea lui este mai mare decât a electrolitului.

5.35. Într-un atelier cu lungimea de 10 m, lățimea de 6 m și înălțimea de 5 m, temperatura aerului se ridică la 27,3°C. Care va fi greutatea aerului din această cameră pentru cazul când presiunea exterioară este normală? (γ_{aer} = 1274 N/m^3).

Rezolvare. Greutatea este dată de relația $G = V\gamma$.

Volumul este $V = 10 \times 6 \times 5 = 300$ m^3.

La temperatura de 27,3°C, greutatea specifică va fi:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_0}{1+\alpha t} = \frac{12{,}74}{1+\frac{27{,}3}{273}} = \frac{12{,}74}{1{,}1} = 11{,}58 \text{ N/m}^3$$

unde α este coeficientul de dilatație al gazelor.

Deci $G = 300 \text{ m}^3 \times 11{,}58 \text{ N/m}^3 = 3474 \text{ N}$.

5.36. Să se calculeze densitatea fierului la temperatura de 600°C, dacă densitatea lui la 0°C este 7,8 g/cm^3 ($\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1}).

5.37. 500 cm^3 alcool cântăresc 400 g la temperatura de 0°C. Care va fi densitatea alcoolului la temperatura de --10°C? ($\gamma = 0{,}0011$ grd^{-1})

5.38. Un cuptor cu volumul de 2 m^3 are temperatura $t_1 = 273$°C și apoi se răcește la temperatura de 27,3°C. Să se calculeze cantitatea de aer care pătrunde în cuptor ($\rho_0 = 1{,}3$ kg/m^3), presiunea fiind p = 740 torr.

5.39. O sferă de fier are, la temperatura de –50°C, volumul de 0,9982 dm^3. Ea se introduce în 4 kg de apă cu temperatura de 45°C. Ce temperatură va căpăta bucata de fier și ce volum va avea la această temperatură? Dar densitatea ce valoare are la --50°C? ($\rho_0 = 7{,}8$ g/cm^3; $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1}, $c_{Fe} = 460$ J/kg·grd; $c_{apă} = 4180$ J/kg·grd).

5.40. În două vase comunicante, A și B, se toarnă petrol. Ramura A se menține la temperatura de 0°C, iar înălțimea coloanei de petrol este de 20 cm. Ce temperatură trebuie să aibă petrolul din ramura B, ca diferența de nivel dintre cele două ramuri să fie de 1 cm? ($\gamma = 0{,}001$ grd^{-1})

Termometria

5.41. Câte grade Fahrenheit și Réaumur sunt echivalente cu 150°C? Dar cu –200°C? Dar în scara Kelvin?

5.42. La un termometru Fahrenheit se citește temperatura de 182°F. Să se calculeze indicațiile termometrelor cu scările Celsius și Réaumur.

5.43. În rezervoarele a două termometre identice se introduc, la 0°C, volume egale de mercur și toluen. Să se determine raportul dintre lungimea l a unei diviziuni corespunzătoare unui grad de pe scara termometrului cu mercur și lungimea l_1 a unei diviziuni de pe scara termometrului cu toluen. ($\gamma_{Hg} = \gamma$; $\gamma_{toluen} = \gamma_1$; $\alpha_{sticlă} = \alpha$)

5.44. Într-o cameră se găsesc două termometre: unul cu scara Celsius și celălalt cu scara Réaumur. Ce temperatură arată cele două termometre, dacă suma citirilor este 90?

5.45. La un termometru cu mercur, volumul rezervorului până la gradația 0

este de *n* ori mai mare decât volumul unei diviziuni. Dacă în locul mercurului se introduce la 0°C un alt lichid cu coeficientul de dilatație absolută γ, se cere să se calculeze până la ce diviziune se va urca lichidul în termometru pentru o temperatură *t*, coeficientul de dilatație al sticlei fiind γ_1.

Aplicație. $\gamma = 0{,}001\ grd^{-1}$; $\gamma_1 = 0{,}000027\ grd^{-1}$; $t = 10°C$; $n = 6500$.

5.46. Secțiunea transversală a capilarului unui termometru cu mercur la $t_0 = 0{,}00°C$ este A_0 și volumul rezervorului de mercur este V_0.

Să se calculeze lungimea coloanei de mercur din capilar dacă mercurul umple complet rezervorul la 8,60°C și aria secțiunii transversale a capilarului este constantă.

5.47. Dintr-un disc metalic cu temperatura $t_0 = 0°C$ și raza R = 20 cm se taie un sector circular (fig. 50). Se ridică temperatura discului la t = 200°C.

Să se calculeze:

a) variația prin încălzire a suprafeței rămase din disc;

b) valoarea unghiului la centru după încălzire.

Coeficientul de dilatare liniară este $\alpha = 10^{-5}\ grd^{-1}$.

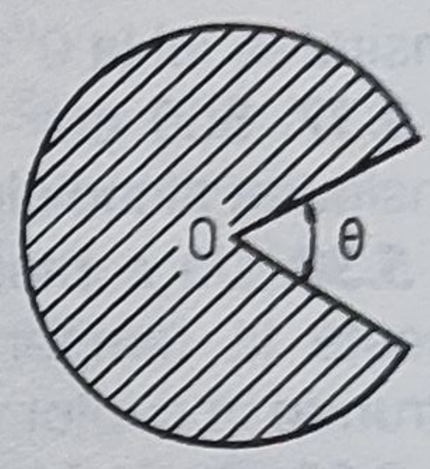


Fig. 50.

5.48. Un diamant are o masă de 20 carate, unde 1 carat = 0,2 g. Dacă el are un coeficient de dilatare liniară de forma $\alpha = a + b(t - 40)$, cu $a = 0{,}354 \cdot 10^{-5}$ și $b = 0{,}432 \cdot 10^{-7}$, să se calculeze la ce temperatură volumul este minim și care este valoarea lui. Diamantul cristalizează în sistemul cubic și $\rho_0 = 3{,}51\ g/cm^3$.

5.49. O bară verticală din alamă are lungimea $l_1 = 102{,}44$ cm la temperatura $t_1 = 15°C$ și are capătul inferior fixat, iar capătul superior se sprijină pe capătul brațului scurt al unei pârghii orizontale de ordinul I. Raportul brațelor pârghiei este $\frac{b_1}{b_2} = \frac{1}{15.}$

Dacă se încălzește bara până la temperatura $t_2 = 100°C$, capătul liber al brațului lung se deplasează cu $a_2 = 2{,}16$ cm. Să se calculeze coeficientul de dilatare al alamei.

5.50. O lamă de cuarț are forma unui disc circular de rază r_0 la temperatura $t_0 = 0°C$. Fiind tăiat din cristalul de cuarț într-un anumit fel, după un diametru are coeficientul de dilatare α_1 și după un alt diametru, perpendicular, coeficientul de dilatare α_2. Să se calculeze creșterea de suprafață la încălzirea uniformă până la temperatura *t*.

5.51. Într-un vas calorimetric cu coeficientul de dilatare α se găsește apă la temperatura t_1. Cum variază presiunea pe fundul vasului, dacă sistemul se încălzește la temperatura t_2? Dacă vasul se umple cu apă la temperatura t_1, câtă apă va curge din el prin încălzire până la temperatura t_2?

5.52. Când temperatura unei monede de cupru a crescut cu $\Delta t = 100°C$, diametrul său a crescut cu $p_d = 0{,}18\%$. Să se calculeze:

a) creșterea în procente a ariei unei fețe și a volumului;

b) creșterea în procente a masei monedei și coeficientul mediu de dilatare liniară.

5.53. Un vas de cupru cu volumul $V_0 = 500\ cm^3$ conține o sferă de material sintetic cu volumul $V_{01} = 50\ cm^3$ și restul, până la umplere, apă, totul la temperatura $t_0 = 0^oC$. Se încălzește ansamblul de corpuri până când greutatea aparentă a sferei devine nulă. Dacă sfera are densitatea relativă $d_1 = 1,01$ și coeficientul de dilatare liniară $\alpha_1 = 8,4 \cdot 10^{-5}\ grd^{-1}$, să se calculeze masa de apă ce curge din vas prin încălzirea sistemului de corpuri.

5.54. Se amestecă un litru de alcool etilic cu temperatura $t_1 = 80^oC$ cu un litru de alcool etilic cu temperatura $t_2 = 0^oC$. Să se calculeze volumul final de alcool, dacă se neglijează schimbul de căldură cu exteriorul și cu vasul.

5.55. O bilă de sticlă, lăsată liberă la suprafața alcoolului dintr-un cilindru, ajunge la fund în intervalul de timp t_1, la temperatura $t_0 = 0^oC$ pentru întregul sistem. În cât timp, t_2, va ajunge bila la fundul cilindrului pentru aceeași adâncime a alcoolului, dacă ansamblul are temperatura $t = 80^oC$? Densitatea medie a bilei de sticlă este dublul densității alcoolului ($\rho_{0s} = 2\,\rho_{0alc}$) și se neglijează forțele de frecare.

5.56. Două vase de sticlă identice, de formă cilindrică, gradate, conțin până la diviziunea 50 unul mercur, celălalt un lichid cu coeficientul de dilatare γ_l, necunoscut, ambele lichide având temperatura $t_1 = 10^oC$.

Se încălzesc simultan cele două vase până la temperatura $t_2 = 90^oC$ și se observă că, în urma dilatării, mercurul a urcat mai mult decât celălalt lichid cu 0,3 diviziuni. Să se calculeze coeficientul de dilatare, γ_l, al lichidului.

5.57. O bară de oțel cu aria secțiunii transversale $S_0 = 24\ cm^2$ absoarbe la încălzire căldura $Q = 22\ MJ$. Să se calculeze:

a) alungirea Δl a barei la încălzire, dacă $l_0 = 100\Delta l$;

b) variația energiei interne a barei la încălzire, dacă $p = 10^5\ Pa$;

c) masa de petrol necesară încălzirii barei, dacă puterea calorică a petrolului este $q = 3,13 \cdot 10^7\ J/kg$ și randamentul încălzitorului $\eta = 30\%$;

d) forța F de dilatare și lucrul mecanic al forței ($d_0 = 7,8$); modulul Young $E = 2 \cdot 10^{11}\ N/m^2$).

5.58. Prin încălzirea a două corpuri din același metal, dilatarea în volum este aceeași. Să se arate prin calcul care dintre cele două corpuri a primit pentru acest proces mai multă căldură.

5.59. Două corpuri metalice, cu mase și temperaturi diferite, sunt puse în contact într-un mediu adiabatic. Care este variația volumului total al corpurilor după realizarea echilibrului termic?

5.60. Volumul rezervorului unui dilatometru cu tijă este de $N = 6480$ ori mai mare decât volumul unei diviziuni de pe tijă.

1° Se umple dilatometrul cu mercur la 0^oC, până la diviziunea 0. La temperatura de 20^oC, mercurul urcă până la diviziunea 20. Să se afle coeficientul de dilatare al sticlei din care este confecționat dilatometrul. ($\gamma_{Hg} = 0,000182\ grd^{-1}$)

2° Cu acest dilatometru vrem să determinăm coeficientul de dilatare al unui lichid. Pentru aceasta, se înlocuiește mercurul cu lichidul respectiv. La 0°C, lichidul ajunge la diviziunea 20, iar la 20°C, el urcă până la diviziunea 85. Care este coeficientul de dilatare absolută al lichidului?

5.61. Un rezervor metalic cu volumul $V_1 = 20$ l la temperatura $t_1 = 20°C$ se încălzește până la temperatura $t_2 = 60°C$. El este plin cu alcool și are coeficientul de dilatare liniară $\alpha = 10^{-5}$ grd^{-1}.

Alcoolul ce curge din vas este folosit prin ardere la încălzirea unei cantități de apă cu masa $m = 50$ kg, cu temperatura inițială $t_3 = 13°C$. Să se calculeze volumul final al apei, dacă randamentul de încălzire este $\eta = 0,8$. Densitatea alcoolului este 0,8, puterea calorică $q = 27$ MJ/kg, $\gamma_{Cu} = 10^{-3}$ grd^{-1} și $\gamma_{apă} = 2 \cdot 10^{-4}$ grd^{-1}.

5.62. Diferența lungimilor a două bare, una din alamă și cealaltă din oțel, trebuie să rămână aceeași la orice temperatură. Să se calculeze lungimea fiecărei bare la temperatura de 0°C.

5.63. Un pendul de ceasornic confecționat din invar ($\alpha = 0,7 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1}) are o perioadă de oscilație $T_1 = 0,500$ s la temperatura $t_1 = 20°C$. Ce corecție este necesară la sfârșitul a 30 zile pentru timpul indicat de ceasornic vara, la temperatura $t_2 = 30°C$? Dar dacă se folosește, în locul invarului, alamă? ($\alpha = 2 \cdot 10^{-5}$ grd^{-1})

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI

6. Fenomene superficiale (fenomene moleculare în lichide)

Considerații teoretice

Lichidele sunt lipsite de formă proprie din cauză că forțele de coeziune sunt mai mici decât la solide, dar mai mari decât la gaze, deoarece, indiferent de forma pe care o are vasul în care se introduc, volumul nu se schimbă. Lichidele sunt foarte puțin compresibile datorită păturii superficiale, ce determină presiuni interioare mari. Forțele de interacțiune între molecule aparținând unor corpuri diferite, la suprafața de contact, se numesc *forțe de adeziune*.

Multe dintre fenomenele întâlnite la lichide au la bază existența unei suprafețe de separare între un lichid și o altă substanță.

Toate fenomenele de suprafață puse în evidență prin diferite experiențe indică faptul că suprafața unui lichid poate fi considerată în stare de tensiune și că, oricum am trasa o curbă în interiorul suprafeței sau la marginea ei, substanța aflată de oricare parte a curbei exercită o forță de întindere asupra substanței aflate de cealaltă parte. Asemenea forțe, numite *forțe superficiale*, lucrează în planul suprafeței și sunt perpendiculare pe curbă.

Tendința lor este de a micșora pătura superficială, prin aceasta micșorându-se numărul de molecule cu energie potențială maximă, sistemul tinzând către o stare de energie potențială minimă.

Coeficientul de tensiune superficială σ este egal cu forța superficială raportată la lungimea (perpendiculară pe forță) marginii peliculei superficiale de lichid de-a lungul căreia acționează forța:

$$\sigma = \lim_{\Delta l \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{dF}{dl} \left(\frac{N}{m} \right) \qquad (1)$$

Se mai definește și prin raportul dintre lucrul mecanic efectuat izoterm de către forțele superficiale și variația ariei peliculei, luat cu semnul minus:

$$\sigma = -\lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta L}{\Delta S} = -\frac{dL}{dS}\left(\frac{J}{m^2}\right) \qquad (2)$$

În cazul unei pelicule de săpun (două suprafețe):

$$\sigma = \frac{F}{2l} \qquad (3)$$

Diferența de presiune în cazul suprafețelor curbate (formula Laplace) este:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} \text{ (sferă)}; \Delta p = \frac{\sigma}{R} \text{ (cilindru)} \qquad (4)$$

unde R este raza sferei, respectiv a cilindrului.

În cazul unui balon de săpun, care are două pelicule sferice foarte apropiate, echilibrul forțelor de presiune este:

$$\Delta p \cdot \pi R^2 = 2 \cdot 2\pi R\sigma \Rightarrow \Delta p = \frac{4\sigma}{R} \qquad (5)$$

Ascensiunea sau depresiunea capilară este dată de legea Jurin (fig. 51):

$$h = \frac{2\sigma}{R\rho g} = \frac{2\sigma\cos\alpha}{r\rho g} \text{ (tub)}; h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g d} \text{ (placă)}$$

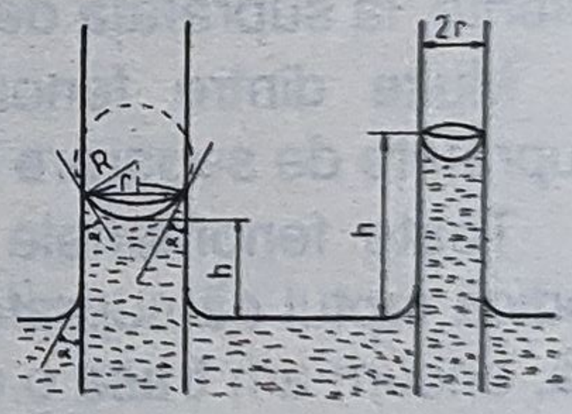


Fig. 51

unde:

R = raza sferei (cilindrului) din care face parte meniscul;

d = distanța dintre plăci;

r = raza tubului capilar;

α = unghiul de racordare (de umectație).

Unghiul de racordare depinde de natura lichidului și a peretelui. Prezența impurităților în lichide modifică substanțial unghiul de racordare. Detergenții micșorează unghiul de racordare de la valoarea $\alpha > 90^\circ$ la valori $\alpha < 90^\circ$. Efectul invers îl au agenții de impregnare a țesăturilor. În cazul lichidelor care udă perfect peretele, unghiul de racordare $\alpha = 0$; la cele care nu udă perfect, $\alpha = \pi$.

Coeficientul de tensiune superficială al unui lichid în contact cu vaporii lui sau cu aerul depinde numai de natura lichidului și de temperatură și scade cu creșterea acesteia.

Fenomene moleculare în lichide

Aplicații

6.1. Două plăci de sticlă paralele verticale sunt parțial scufundate în apă. Distanța dintre plăci este d = 0,5 mm și lățimea unei plăci l = 20 cm.

Dacă unghiul de racordare este nul, să se afle:

a) ascensiunea capilară a apei;

b) forța cu care se atrag plăcile datorită forțelor superficiale;

c) forma suprafeței libere a lichidului între cele două plăci unite de-a lungul unei laturi și formând între ele un unghi diedru mic (pană de aer).

Rezolvare. a) Forțele de tensiune superficială, F, ce acționează pe conturul meniscului -- în cazul de față, un hemicilindru – determină urcarea apei între plăci față de nivelul lichidului din vas până când greutatea coloanei de lichid echilibrează aceste forțe. Se consideră drept contur numai porțiunea de pe plăci de lățime l (fig. 52).

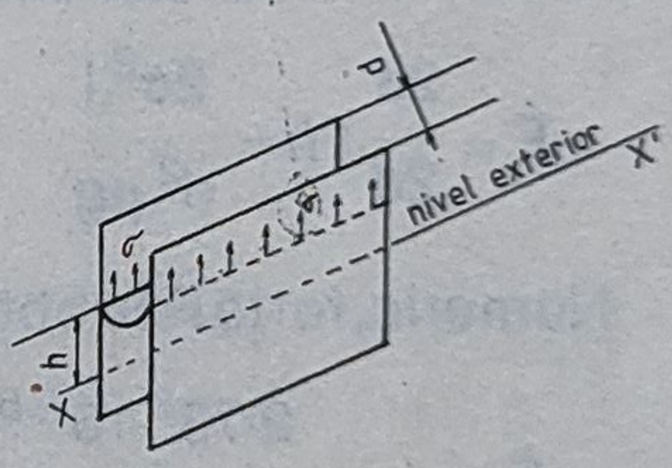


Fig. 52.

Deci, forțele superficiale F au valoarea:

$$F = 2\sigma \cdot l \qquad (1)$$

La echilibru:

$$\vec{G} + \vec{F} = 0 \Rightarrow mg = 2l \cdot \sigma \text{ sau: } ldh\rho g = 2l \cdot \sigma$$

Ascensiunea față de nivelul xx' este:

$$h = \frac{2\sigma}{d\rho g} \qquad (2)$$

Numeric, avem:

$$h = \frac{2 \cdot 73 \cdot 10^{-3}\ \text{Nm}^{-1}}{0{,}2\ \text{m} \cdot 10^{3}\ \text{Kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}} = 29{,}796\ \text{mm}$$

b) Forța dintre plăci rezultă din diferența de presiune datorată forțelor superficiale.

Forța pe o placă va fi:

$$F = \frac{S}{2} \cdot \Delta p \qquad (3)$$

Diferența de presiune este raportul dintre rezultanta forțelor superficiale și aria secțiunii transversale a coloanei de lichid:

$$\Delta p = \frac{F}{S_{tr}} = \frac{2\sigma\, l}{d\, l} = \frac{2\sigma}{d} \qquad (4)$$

Suprafața udată pe o placă de coloana de lichid este:

$$S = l \cdot h \qquad (5)$$

Din relațiile (2), (3), (4) și (5) se obține:

$$F = \frac{2\sigma}{2d} \cdot l\, h = \frac{2\sigma^2 l}{d^2 \rho g} \qquad (6)$$

Numeric, forța F se obține din relația (6):

$$F = \frac{2 \cdot 73^2 \cdot 10^{-6}\ \text{N}^2\ \text{m}^{-2} \cdot 0{,}2\ \text{m}}{0{,}5^2 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2 \cdot 10^{3}\ \text{Kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}} = 0{,}87\ \text{N}$$

c) Ascensiunea y într-un punct A (fig. 53), de abscisă x, este:

$$y = \frac{2\sigma}{d\, \rho g} \qquad (7)$$

unde,

$$\frac{d}{2} = x\, \text{tg}\, \frac{\alpha}{2} \qquad (8)$$

Din relațiile (7) și (8) se obține:

$$y = \frac{\sigma}{\rho g\, \text{tg}\, \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{1}{x} \qquad (9)$$

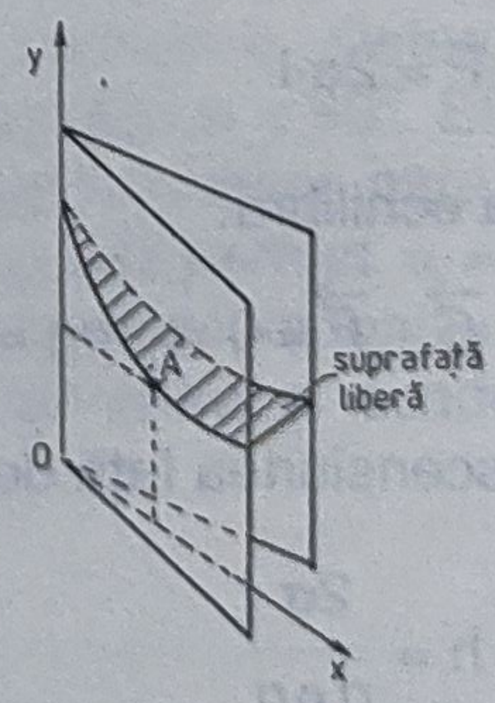


Fig. 53.

Relația (9) este ecuația unei hiperbole echilatere și, deci, conturul meniscului pe placă este o ramură de hiperbolă echilateră.

6.2. Cu cât variază diferența de nivel a apei, $\Delta h = \Delta h' - \Delta h''$, dintre două capilare comunicante cu diametrele $d_1 = 0{,}1$ mm și $d_2 = 0{,}3$ mm, la o încălzire de la 20 la 70°C, dacă valoarea tensiunii superficiale a apei în funcție de temperatură este dată de relația

$$\sigma = (75 - 0{,}15 \cdot t) \cdot 10^{-3}$$

unde t este temperatura în °C (fig. 54). (Se neglijează variația densității cu temperatura.)

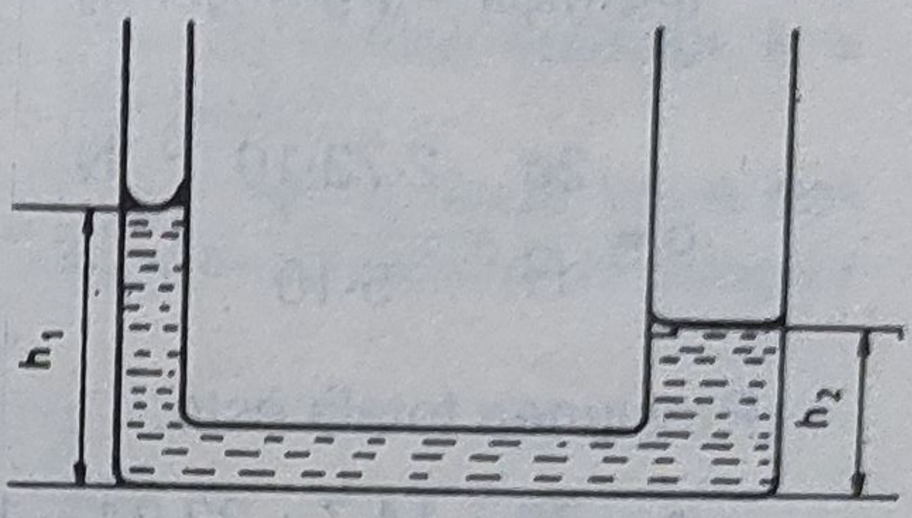


Fig. 54.

Rezolvare. Din legile capilarității avem

$$h_1 = \frac{4\sigma}{d_1 \cdot \rho \cdot g}; \; h_2 = \frac{4\sigma}{d_2 \cdot \rho \cdot g}$$

$$\Delta h'_{(20)} = h_1 - h_2 = \frac{4\sigma_1 (d_2 - d_1)}{\rho \cdot g \; d_1 \cdot d_2}$$

$$\Delta h''_{(70)} = h'_1 - h'_2 = \frac{4\sigma_2 (d_2 - d_1)}{g \; \rho \; d_1 \cdot d_2}$$

$$\Delta h = \Delta h' - \Delta h'' = \frac{4 (\sigma_1 - \sigma_2)(d_2 - d_1)}{g \; \rho \; d_1 \; d_2} = \frac{4\Delta\sigma (d_2 - d_1)}{g \; \rho \; d_1 \cdot d_2}$$

Prin înlocuire cu valorile numerice, se obține:

$$\Delta h = \frac{4 \cdot 7{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-3}}{4{,}8 \cdot 10^{3} \cdot 0{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}3 \cdot 10^{-3}} = 0{,}0204 \text{ m} = 2{,}04 \text{ cm}$$

6.3. La ce presiune este supus aerul din interiorul unei bule cu raza de $5 \cdot 10^{-3}$ mm, care se găsește sub apă la adâncimea de 2 m? ($\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ N/m; presiunea atmosferică = 76 cm Hg)

Rezolvare. Soluția I. Presiunea la care este supus aerul din bulă este:

$$P = H + \rho gh + p$$

unde:

H – presiunea atmosferică;

ρgh – presiunea exercitată de coloana de apă;

p – presiunea suplimentară produsă de membrana de apă care înconjoară bula.

Echivalentul coloanei de apă în coloană de mercur este:

$$(\rho gh)_{apă} = (\rho gh)_{Hg};\ h_{Hg} = \frac{\rho_{apă} \cdot h_{apă}}{\rho_{Hg}} = \frac{1 \cdot 200}{13,6} = 14,7 \text{ cm Hg}$$

$$p = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2 \cdot 73 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{N}{m^2} = 0,29 \text{ atm} = 22,04 \text{ cm Hg}$$

Presiunea totală este:

$$p = 76 + 14,7 + 22,04 = 112,74 \text{ cm Hg}$$

$$p = \frac{112,74}{76} = 1,453 \text{ atm.}$$

Soluția II. $p = p_{atmosferică} + p_{apă} + p_{suplim.}$

$$p = \rho_{Hg} g h_{Hg} + \rho_{apă} g h_{apă} + \frac{2\sigma}{r}$$

Înlocuind cu valorile numerice, se obține:

$$p = 13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,76 + 2 \cdot 10^3 \cdot 9,8 + \frac{2 \cdot 73 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}} \approx 147225 \text{ N/m}^2 = 1,453 \text{ atm}$$

6.4. La ce înălțime se va ridica apa într-un tub capilar de sticlă cu diametrul interior de 2 mm, dacă tensiunea superficială a apei este $\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ N/m? Dar când unghiul de racordare este 30°, cât trebuie să fie raza tubului pentru ca aopi să se ridice la aceeași înălțime?

6.5. La un stalagmometru, gâtul *d* al picăturii ce se formează are 0,8 mm. Dacă numărul picăturilor este 56 și masa lor 1,5 g, să se calculeze tensiunea superficială a lichidului. Folosind un alt lichid, numărul picăturilor pentru același volum este 80, iar densitățile celor două lichide sunt $\rho_1 = 1,4$ g/cm^3 și $\rho_2 = 0,8$ g/cm^3. Ce tensiune superficială are cel de al doilea lichid?

6.6. La ce înălțime se ridică apa dintre două plăci verticale și paralele de sticlă, scufundate parțial în apă, dacă distanța dintre ele este d = 0,2 mm? (Se ia $\sigma_{apă} = 73 \cdot 10^{-3}$ N/m la 20°C și $\alpha = 0°$.)

6.7. Care este raportul înălțimilor apei și petrolului lampant în două tuburi capilare identice, la 20°C? ($\rho_{apă} = 1$ g/cm^3; $\rho_{petrol} = 0,8$ g/cm^3; $\sigma_{apă} = 73 \cdot 10^{-3}$ N/m; $\sigma_{petrol} = 24 \cdot 10^{-3}$ N/m).

6.8. Pe fundul unui vas care conține un strat de apă de grosime h = 1 m, se găsește o bulă de aer ce urcă uniform, atingând suprafața apei după timpul t = 5 s. Să se calculeze:

a) raza bulei la adâncimea h;

b) la ce presiune, exprimată în torr, se află aerul din bulă pe fundul vasului, dacă presiunea atmosferică este normală.

(Forța de rezistență la mișcarea în fluide cu viteza v este $R = k\rho Sv^2$, unde S este aria secțiunii transversale maxime pe viteză, ρ = densitatea fluidului, $k = 0,2$, $\rho_{aer} = 1,3\ kg \cdot m^{-3}$, $\sigma = 7 \cdot 10^{-2}\ N \cdot m^{-1}$, $\rho_{Hg} = 13,6 \cdot 10^3\ kg \cdot m^{-3}$.)

6.9. Să se calculeze diferența de nivel a lichidului aflat în două vase comunicante cu diametrele d_1 și d_2 ($d_1 < d_2$), dacă unghiurile de racordare sunt α_1 și α_2, densitatea lichidului ρ și tensiunea superficială σ.

6.10. Un tub capilar vertical de rază *r* este introdus cu un capăt într-un lichid care udă pereții tubului. Dacă presiunea atmosferică este *p*, să se stabilească variația presiunii în capilar funcție de înălțimea *y* (fig. 55)

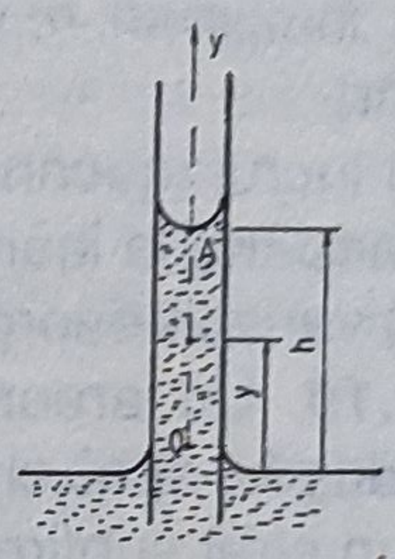


Fig. 55.

6.11. Un tub capilar de lungime l = 40 cm, închis la un capăt, se introduce vertical, cu celălalt capăt, pe jumătate din lungimea sa, într-o cuvă largă cu apă. Care este raza tubului, dacă apa urcă la h = l/4?

Presiunea atmosferică $p_{at} = 10^5$ Pa.

6.12. Un lichid are la 0°C densitatea $\rho_0 = 0,8\ g/cm^3$ și tensiunea superficială la temperatura de lucru $\sigma = 20 \cdot 10^{-3}$ N/m. El umple bula unui stalagmometru cu volumul $V = 2\ cm^3$ la 0°C, iar diametrul tubului unde se formează picătura este d = 1 mm la temperatura de lucru. Câte picături de lichid vor corespunde volumului dintre cele două repere la temperatura de lucru?

($\alpha_{sticlă} = 9 \cdot 10^{-6}\ grd^{-1}$; $\gamma_{lichid} = 10^{-3}\ grd^{-1}$; t = 20°C)

6.13. Picăturile mici de mercur, de rază *r*, ce alunecă pe o suprafață de sticlă plană și orizontală se unesc la contactul dintre ele. Care va fi variația de temperatură când se unesc *N* picături și nu se ține seama de deformarea picăturii datorită greutății proprii? Cât devine variația de temperatură când numărul picăturilor crește foarte mult?

6.14. O bulă de săpun are raza r = 5 mm și coeficientul de tensiune superficială $\sigma = 4 \cdot 10^{-2}\ N \cdot m^{-1}$. Să se calculeze:

a) variația de presiune, Δp, a aerului din interiorul bulei;

b) energia eliberată de forțele superficiale în cazul bulei de săpun.

6.15. Un stalagmometru (fig. 56) cu coeficientul mediu de dilatare α se umple cu un lichid și se lucrează la două temperaturi, t_1 și t_2, cu coeficienții de tensiune superficială σ_1 și σ_2. Lichidul are coeficientul mediu de dilatare cubică γ. Să se calculeze raportul dintre numărul de picături pentru cele două temperaturi între cele două repere.

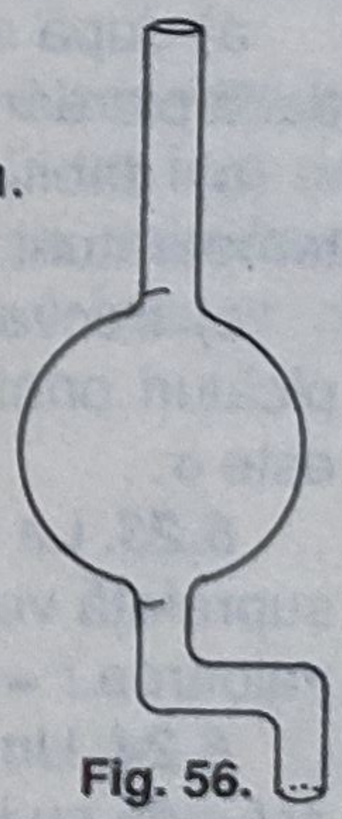


Fig. 56.

6.16. Să se calculeze lungimea maximă a coloanei de lichid ce rămâne într-un tub capilar, la golirea liberă.

6.17. Două baloane de săpun, de raze r_1 și r_2, sunt suflate pe rând la cele două capete ale unui tub (fig. 57).

Se închide robinetul R și se deschid robinetele R_1 și R_2, astfel că se

realizează comunicarea între cele două baloane. Dacă coeficientul de tensiune superficială al peliculei de săpun este σ, să se arate ce se întâmplă cu razele baloanelor.

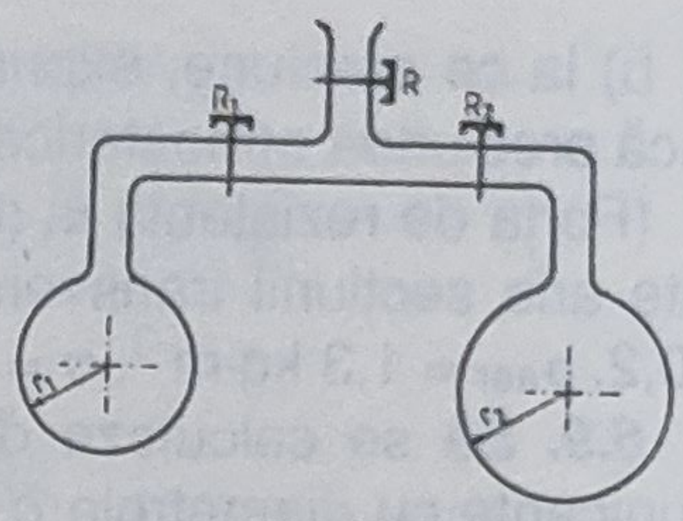


Fig. 57.

6.18. Un tub capilar de rază *r* este introdus într-un lichid cu coeficientul de tensiune superficială σ. Să se calculeze:

a) înălțimea *h*, de ridicare a lichidului în tubul capilar;

b) lucrul mecanic efectuat de forțele superficiale la ridicarea lichidului în tubul capilar până la înălțimea *h*;

c) variația energiei potențiale a coloanei de lichid. Discuție.

6.19. Un areometru are plutitorul de volum *V* și volumul unei gradații *v*. Introdus în apă, el se scufundă cu n_1 diviziuni. Se toarnă la suprafața apei din vas un strat subțire de benzen, cu $\sigma_2 = 29 \cdot 10^{-3}$ N/m. Să se calculeze numărul de diviziuni cu care se scufundă în cazul al doilea, dacă pentru apă $\sigma_1 = 73 \cdot 10^{-3}$ N/m și diametrul tijei este *d*.

6.20. Să se afle energia potențială superficială a unui balon de săpun de rază r = 5 cm, dacă la suprafața liberă a soluției de apă cu săpun folosite plutește un ac de lungime l = 4 cm, așezat cu grijă, iar forțele superficiale ce-l mențin au valoarea $F = 0{,}5 \cdot 10^{-2}$ N.

6.21. Un tub capilar de rază *r* se introduce vertical într-un lichid cu coeficientul de tensiune superficială σ și densitatea ρ. Dacă lichidul are căldura specifică sensibilă *c* și procesul decurge rapid, fără schimb de căldură cu masa de lichid din vas și cu exteriorul, să se calculeze variația de temperatură a coloanei de lichid din tub.

6.22. Un lichid cu temperatura t_1 curge cu debitul masic D_m într-un vas de capacitate calorică C, care conține cantitatea M din acest lichid, cu căldura specifică c și temperatura t_2. Să se calculeze:

a) după cât timp, τ, temperatura lichidului din vas devine t_3, unde $t_2 < t_3 < t_1$, dacă pierderea de căldură prin pereții vasului în unitatea de timp este *q* (J/s);

b) debitul D'_m de curgere a lichidului cu temperatura t_1 după atingerea temperaturii t_3, astfel ca temperatura în vas să rămână constantă;

c) frecvența de cădere a picăturilor, dacă în cazul b) curgerea se face în picături printr-un tub subțire de rază *r*, iar coeficientul de tensiune superficială este σ.

6.23. La ce adâncime *h* se formează bule gazoase în apă, dacă la urcarea la suprafață volumul lor crește de n = 1,1 ori? La suprafața apei, razele bulelor au valoarea r = 1,53 μm și presiunea atmosferică este $p_0 = 10^5$ Pa.

6.24. Un tub de sticlă deschis la ambele capete, cu lungimea l = 100 cm, se scufundă cu jumătate din lungimea sa, vertical, în apa dintr-un vas deschis. După scfundare se astupă deschiderea capătului superior al tubului și se scoate vertical afară în aer. Să se calculeze:

a) lungimea l_2 până la care rămâne apă în tub, dacă presiunea atmosferică este $p_1 = 10^5$ Pa și $g = 10$ m/s^2;

b) lungimea coloanei de apă din tub, dacă se ține seama de fenomenul de capilaritate, raza tubului fiind $r = 4$ mm și coeficientul de tensiune superficială $\sigma = 0{,}07$ N/m.

6.25. Un balon de sticlă cu volumul $V_0 = 4$ l la 0°C este prevăzut cu o pipetă cu robinet cu eter etilic prinsă în dopul ce închide balonul. Să se calculeze câte picături de eter sunt necesare la 27°C ca să satureze atmosfera din balon. Raza deschiderii vârfului pipetei este $r = 0{,}5$ mm, coeficientul de tensiune superficială $\sigma = 16$ mN/m, presiunea vaporilor saturanți $p_s = 600$ torr și $\mu = 74$ g/mol.

6.26. Un tub de sticlă de lungime *l* și diametru mic, de rază *r*, se introduce vertical într-un lichid de densitate ρ, cu capătul superior închis, până la jumătate din lungimea sa. Lichidul pătrunde în tub pe o lungime l_2.

Să se calculeze coeficientul de tensiune superficială σ, dacă unghiul de racordare $\alpha \approx 0°$ și presiunea atmosferică este p_0.

6.27. Pe fundul unui rezervor cu benzină, de suprafață $S = 10$ dm^2, se găsește un orificiu cu raza $r = 0{,}2$ mm. Ce volum de benzină poate fi în rezervor pentru ca benzina să nu curgă? ($\sigma = 30 \cdot 10^{-3}$ N/m și $\rho = 0{,}7$ g/cm^3)

6.28. Un tub capilar cu raza $r = 1$ mm se introduce vertical, într-un lichid de densitate $d = 0{,}8$, la adâncimea $h = 5$ cm față de suprafața liberă a lichidului (fig. 58).

Dacă prin capătul superior al tubului se exercită o presiune suplimentară $\Delta p = 4$ torr asupra aerului, la capătul inferior al tubului se formează o bulă semisferică de aer cu o rază egală cu a tubului. În aceste condiții să se calculeze coeficientul de tensiune superficială al lichidului, dacă unghiul de racordare este nul.

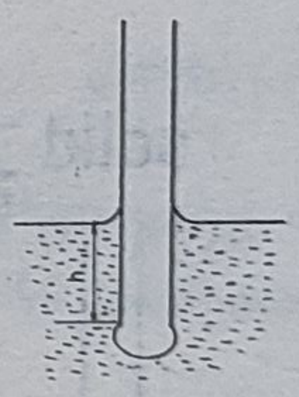


Fig. 58.

6.29. Să se calculeze înălțimea de la care trebuie să cadă o picătură de apă cu raza $R = 2$ mm pentru ca la atingerea unei suprafețe rigide să se fragmenteze în $n = 3$ picături. (Se neglijează efectele termice).

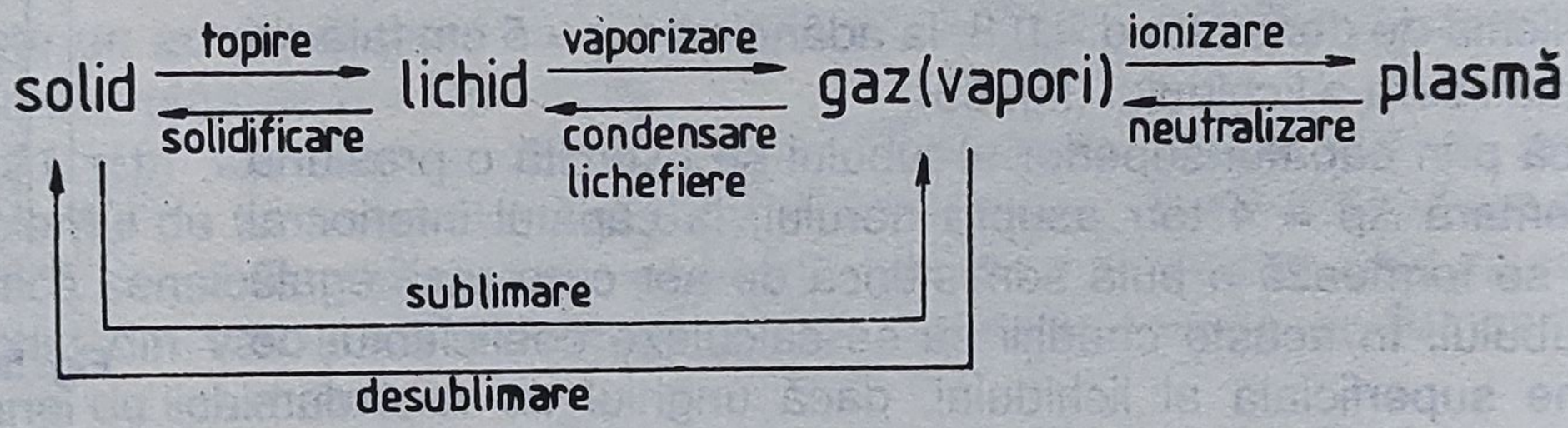
6.30. Un tub capilar este scufundat vertical la adâncimea $h_1 = 8$ cm, într-un lichid de densitate $d = 0{,}9$. Lichidul urcă în tub la înălțimea $h_2 = 5$ cm față de nivelul lichidului din vas și unghiul de racordare este zero. Să se calculeze presiunea necesară pentru a sufla un balon semisferic la capătul inferior al tubului.

7. Schimbarea stării de agregare

Considerații teoretice

În natură, substanțele se găsesc în patru stări de agregare sau faze: solidă, lichidă, gazoasă (vapori) și plasmă.

Trecerea dintr-o fază în alta se face cu absorbție sau eliberare de căldură, conform schemei de mai jos.



Trecerea de la stânga la dreapta are loc cu absorbție de căldură, iar de la dreapta la stânga, prin eliberare de căldură.

Prin încălzire, energia de oscilație a moleculelor unui solid crește, iar forțele moleculare se reduc atât de mult, încât moleculele se pot mișca liber unele față de altele și solidul devine lichid. În timpul topirii, temperatura substanței nu mai crește, deși se consumă căldură. Viteza medie a moleculelor rămâne constantă și căldura furnizată se numește *căldură latentă de topire*.

$$Q = m \cdot \lambda_t$$

unde λ_t = căldura latentă specifică de topire [J/kg].

Ea este transformată în energie potențială a particulelor pentru învingerea forțelor moleculare. La răcire, această energie potențială este eliberată din nou, sub formă de *căldură latentă de solidificare*.

Pentru aceeași presiune, topirea și solidificarea au loc la aceeași temperatură. În cazul unui lichid, prin încălzire crește energia cinetică și, deci, și viteza medie a particulelor. La o anumită temperatură (de fierbere), energia

cinetică este atât de mare, încât particulele părăsesc legătura lichidului și trec ca particule libere în spațiul gazos.

În acest caz lichidul *fierbe* și temperatura și, deci, și viteza medie a particulelor rămâne constantă, dacă presiunea exterioară nu se modifică. Căldura furnizată în timpul fierberii se numește *căldura latentă de vaporizare* ($Q_v = m \cdot \lambda_v$). Ea este folosită la creșterea energiei potențiale a particulelor pentru învingerea forțelor de legătură. La răcire, ea se eliberează sub formă de *căldură latentă de condensare*.

Ținând seama de distribuția maxwelliană a vitezelor, unele molecule posedă deja, la temperaturi sub punctul de fierbere, viteza, respectiv energia cinetică necesară pentru a învinge forțele de legătură la suprafața lichidului. Aceste molecule pot scăpa în spațiul gazos: lichidul se *evaporă* și energia internă a lichidului scade.

Vaporii din atmosfera gazoasă limitată de la suprafața lichidului sunt *vapori saturanți*. Presiunea lor depinde de temperatură și de natura lichidului.

Vaporii din atmosfera gazoasă nelimitată sunt vapori *nesaturanți* și – la o temperatură dată – presiunea lor este mai mică decât a vaporilor saturanți.

Vaporii nesaturanți sau supraîncălziți ascultă, ca și un gaz cvasi-ideal, de legile gazului ideal.

Căldurile latente specifice sunt constante de material și se determină experimental, prin măsurări calorimetrice.

În figura 59 se prezintă graficul de transformare a apei de la starea solidă la starea de vapori și valoarea căldurii necesare pentru 1 kg de apă la presiunea normală, din care se observă pantele căldurilor sensibile.

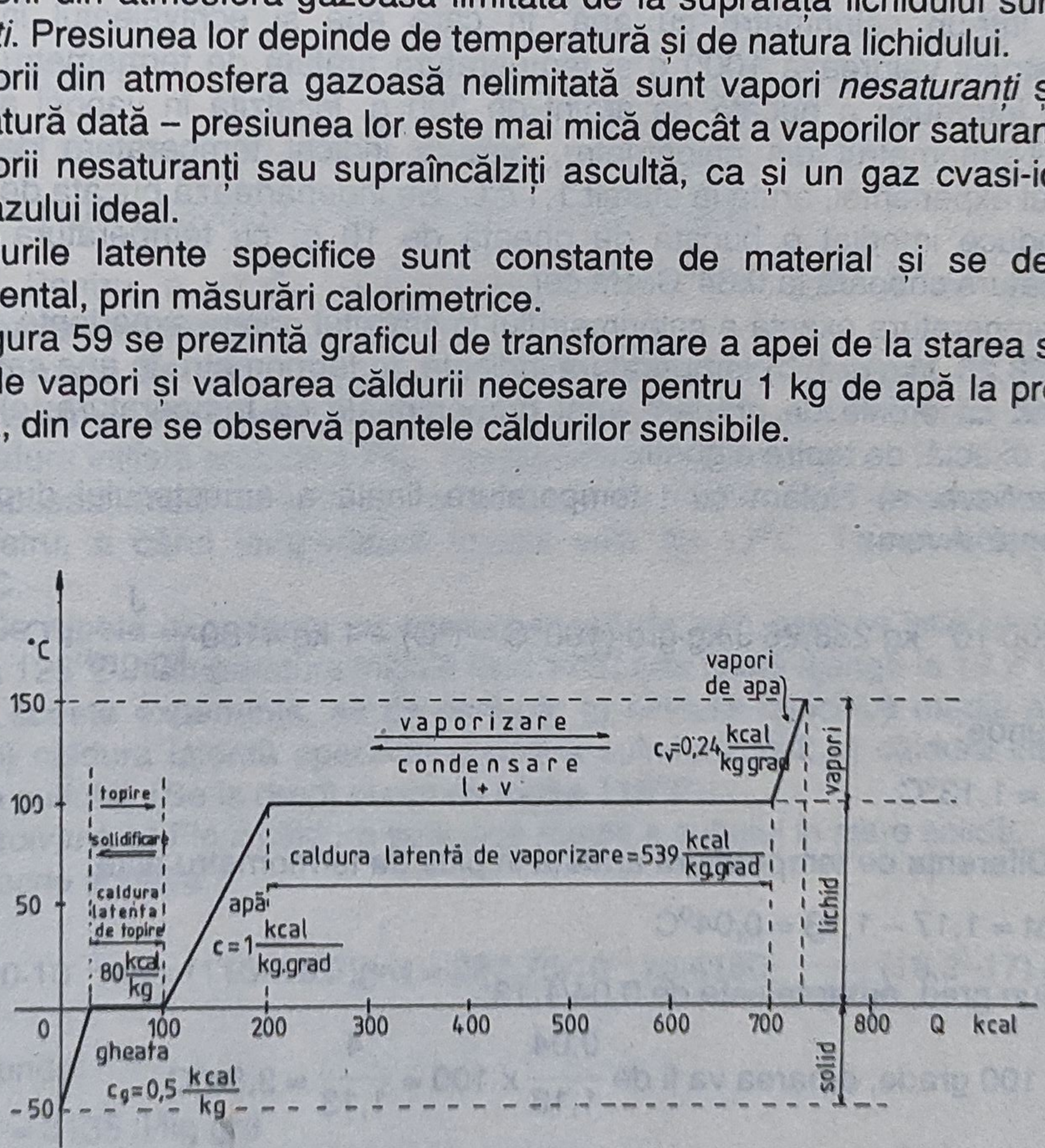


Fig. 59.

Topirea și solidificarea

Aplicații

7.1. Într-un calorimetru cu apă, în care apa și echivalentul în apă al calorimetrului valorează 1000 g și temperatura arătată de termometru este de 0°C, se introduce o bucată de argint de 200 g, încălzită în vaporii apei care fierbe. Termometrul din calorimetru, care a indicat temperatura de 0°C la începutul experienței, arată la sfârșit 1,17°C. Se îndepărtează bucata de argint și se introduce imediat o bucată de gheață de 10 g, cu temperatura de 0°C. Temperatura coboară la 0,34°C. Se cer:

a) temperatura exactă a calorimetrului la sfârșitul primei experiențe, știind că c_{Ag} = 238,26 J/kg·grd; b) temperatura indicată de termometru în apa care fierbe, admițând că erorile de gradare sunt proporționale cu temperatura; c) căldura latentă, exactă, de topire a gheții.

Rezolvare. a) Notăm cu t temperatura finală a amestecului după prima experiență. Avem:

$$200\cdot10^{-3}\ \text{kg}\cdot238{,}26\ \text{J/kg}\cdot\text{grd}\ (100^\circ\text{C} - t^\circ\text{C}) = 1\ \text{kg}\cdot4180\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{grd}}\cdot t^\circ\text{C}$$

de unde:

$$t \approx 1{,}13^\circ\text{C}.$$

b) Diferența de temperatură arătată în plus de termometru este:

$$\Delta t = 1{,}17 - 1{,}13 = 0{,}04^\circ\text{C}$$

La un grad, eroarea este de 0,04/1,13;

La 100 grade, eroarea va fi de $\frac{0{,}04}{1{,}13} \times 100 = \frac{4}{1{,}13} = 3{,}54^\circ\text{C}$.

Pentru 100°C, temperatura arătată de termometru va fi:

$$100 + 3{,}54 = 103{,}54^\circ\text{C}$$

c) Fie t' temperatura finală și λ_t căldura latentă specifică de topire a gheții. Căldura primită de gheață ca să se topească este 10 λ_t și de apă, ca să se încălzească până la t', este $10t'$. Ea este primită de la apă și calorimetru, în care s-a introdus gheața. Căldura cedată este 1000 $(t - t')$.

Deci

$$10\cdot10^{-3}\ \text{kg}\cdot\lambda_t + 10\cdot10^{-3}\ \text{kg}\cdot4180\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{grd}}\ t'\ ^\circ\text{C} = 1\ \text{kg}\cdot4180\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{grd}}\ (t - t')$$

$$\lambda_t = = [100\ (t\text{--}t') - t']\cdot4180 \qquad (1)$$

Din enunț rezultă:

$$0{,}34 = t' + \frac{0{,}04}{1{,}13}\cdot t'$$

$$t' = 0{,}33^\circ\text{C} \qquad (2)$$

Ținând seama de (2), din (1) rezultă:

$$\lambda_t = [100(1{,}13\text{--}0{,}33) \text{ -- } 0{,}33]\cdot4180 = 333{,}02\ \text{kJ/kg}$$

7.2. Pentru a studia proprietățile termice ale sulfului, se efectuează următoarele experiențe:

1) O masă de 20 g din această substanță, cu temperatura de 110°C, se introduce într-un calorimetru în care apa și echivalentul în apă valorează 267,75 g și temperatura inițială este de 17°C. Temperatura finală ajunge la 18,20°C.

2) Aceeași masă de sulf, cu temperatura de 140°C, este introdusă în același calorimetru, a cărui temperatură inițială este tot 17°C. Temperatura urcă la 19,47°C.

3) Se repetă experiența cu aceeași masă de sulf, care se încălzește numai până la 125°C. Temperatura inițială fiind 17°C cea finală ajunge la 19,2°C.

Din aceste experiențe, să se deducă: a) căldura specifică medie a sulfului solid; b) căldura latentă specifică medie a sulfului lichid; c) căldura latentă de topire a sulfului. (Se ia drept punct de topire 115°C.)

Rezolvare. a) Fie x căldura specifică medie a sulfului în stare solidă.

Se scrie ecuația:

$$20\cdot10^{-3}\cdot\text{kg}\cdot x\cdot(110\text{–}18{,}2)\text{grd} = 267{,}75\cdot10^{-3}\ \text{kg}\cdot4180\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{grd}}\ (18{,}2\text{–}17)\ \text{grd}$$

de unde:

$$x = 3135\ \text{J/kg}\cdot\text{grd} \qquad (1)$$

b) Fie y căldura specifică medie a sulfului în stare lichidă și λ_t căldura latentă specifică de topire. Din experiențele 2 și 3 se pot scrie ecuațiile:

$$20y(140 - 115) + 20\lambda_t + 20x(115 - 19{,}47) =$$

$$= 267{,}75 \cdot 4180 \text{ J/kg·grd}(19{,}47 - 17) \text{ grd} \qquad (I)$$

$$20y(125 - 115) + 20\lambda_t + 20x(115 - 19{,}2) \text{ grd} =$$

$$= 257{,}75 \cdot 4180\ (19{,}2 - 17) \qquad (II)$$

Înlocuind pe x cu valoarea din (I), se obține:

$$y \approx 102 \text{ J/kg·grd}$$

Înlocuind pe x și y în ecuația (II), se obține:

$\lambda_t = 42803{,}2$ J/kg

7.3. O cantitate de apă cu masa $m_1 = 1$ kg și temperatura $t_1 = 10^\circ$C se introduce în gheață pisată cu masa $m_2 = 1$ kg și temperatura $t_2 = = -- 30^\circ$C. Capacitatea calorică a vasului este $C = = 60$ J/grd. Să se calculeze:

a) starea finală a sistemului;

b) variația energiei interne a gheții rezultate la realizarea echilibrului termic în procesul izoterm, dacă densitatea apei este $d_0 = 0{,}999$ și a gheții $d_g = 0{,}9$ iar presiunea exterioară este normală.

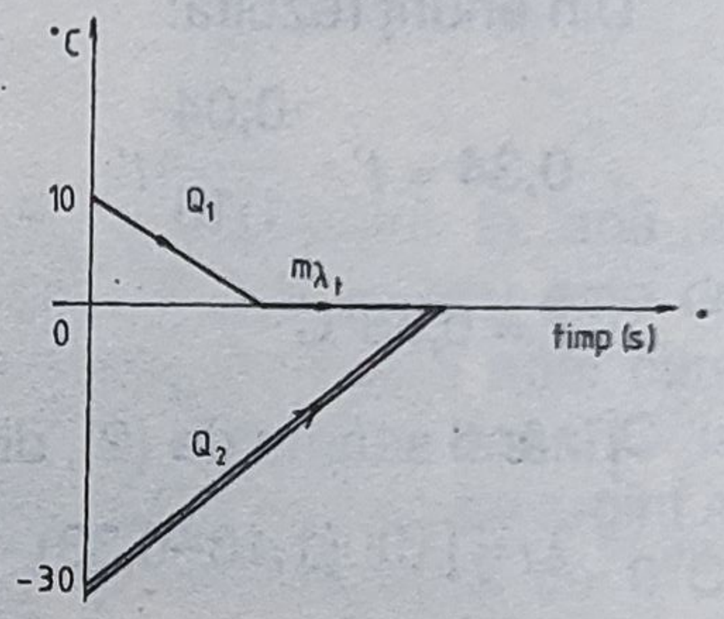


Fig. 60.

($c_{gheață} = (1/2)c_{apă} = 2090$ J/kg·grd și $\lambda_t = 334000$ J/kg).

Rezolvare. a) La realizarea echilibrului termic, pe lângă căldurile sensibile intră în joc și căldurile latente, în cazul de față de topire sau solidificare. În consecință, se vor calcula în primul rând căldurile sensibile, considerând temperatura de echilibru $\theta = 0^\circ$C: (vezi fig. 60).

Căldura cedată de apă este:

$$|Q_1| = m_1 c_1 (t_1 - \theta) = 1 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg·grd}} \cdot 10 \text{ grd} = 41800 \text{ J}$$

Căldura primită de gheață și vas este:

$$Q_2 = m_2 c_2 (\theta - t_2) + C(\theta - t_2) = (m_2 c_2 + C)(\theta - t_2)$$

$$Q_2 = (1 \text{ kg} \cdot 2090 \frac{\text{J}}{\text{kg·grd}} + 60 \frac{\text{J}}{\text{grd}}) 30 \text{ grd} = 64500 \text{ J}$$

Cum $Q_2 > |Q_1|$ rezultă că o parte din apă se solidifică, conform diagramei din figura 60.

$$Q_2 - |Q_1| = m\lambda$$

Masa de apă solidificată este:

$$m = \frac{Q_2 - |Q_1|}{\lambda} = \frac{22700\ J}{334000 \cdot \frac{J}{kg}} = 0{,}068\ kg$$

La echilibrul termic cu temperatura $\theta = 0^oC$, sistemul este format din 1,068 kg gheață și 0,932 kg apă.

b) Variația energiei interne a gheții rezultate se calculează prin aplicarea primului principiu al termodinamicii, unde:

$$m\lambda = \Delta U + L = \Delta U + p\Delta V$$

Trecerea de la apă la gheață are loc cu variație de volum, deci:

$$\Delta U = m\lambda - p_0(V_g - V_{apă}) = m\left(\lambda - p_0 \frac{\rho_a - \rho_g}{\rho_a \rho_g}\right)$$

$$\Delta U = \frac{22700}{334000}\ kg \left(334000 \frac{J}{kg} - 101325 \frac{N}{m^2} \cdot \frac{999 - 900}{999 \cdot 900} \cdot \frac{m^3}{kg} \right) \approx 22700$$

Se observă că diferența dintre variația energiei interne față de căldura latentă de solidificare este destul de mică.

7.4. Un glonț pornește din țeava puștii pe verticală cu viteza $v_0 = 600$ m/s, temperatura $t = 27^oC$ și, la un sfert din înălțimea maximă ce o poate atinge, lovește normal o placă de oțel. Dacă, prin ciocnire, glonțul reține 90% din căldura rezultată, să se calculeze starea finală a glonțului. Se cunosc: $c_s = 125$ J/kg·grd, $\lambda = 21000$ J/kg, temperatura de topire $t_0 = 327^oC$, $c_e \approx c_s$.

Rezolvare. Aplicând legea conservării energiei în procesele mecanice și termice pentru punctul de pornire și punctul de oprire, după ciocnire rezultă relația:

$$U_1 + \frac{m v_0^2}{2} = mgh + U_2$$

Variația energiei interne este tocmai căldura Q:

$$Q = U_2 - U_1 = \frac{m v_0^2}{2} - mgh$$

Din legea mișcării la aruncarea pe verticală de jos în sus se obține înălțimea maximă:

$$h = v_0 t - \frac{g t^2}{2}$$

$$h = h_{max} \Rightarrow h'(t) = 0 \text{ adică } \frac{dh}{dt} = v = v_0 - gt = 0 \Rightarrow t = t_u = \frac{v_0}{g};\ h = h_{max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

În acest caz:

$$Q = \frac{mv_0^2}{2} - mg\cdot\frac{v_0^2}{2g}\cdot\frac{1}{4} = \frac{3}{8}\cdot\frac{mv_0^2}{2}$$

Din căldura Q, proiectilul reține 90% și deci:

$$0{,}9\cdot\frac{3}{8}\cdot\frac{mv_0^2}{2} = mc\Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{2{,}7}{8}\cdot\frac{v_0^2}{2c} = 486^oC$$

Cum temperatura de topire este 327°C, rezultă că o fracțiune x din masa proiectilului se topește, adică:

$$\frac{2{,}7}{8}\cdot\frac{mv_0^2}{2} = mc\Delta t + xm\lambda$$

$$x = \left(\frac{2{,}7}{8}\cdot\frac{v_0^2}{2} - c\Delta t\right)\frac{1}{\lambda}$$

Înlocuind cu valorile numerice, se obține:

$$x = \left(\frac{2{,}7}{8}\cdot\frac{600^2\,m^2}{2\quad s^2} - 125\,\frac{J}{kgK}\cdot 300\,K\right)\cdot\frac{1}{21000}\cdot\frac{kg}{J} = \frac{77{,}5}{70} \approx 1{,}107$$

Cum x > 1, rezultă că se topește toată masa și temperatura depășește temperatura de topire, 327°C. Deci:

$$0{,}9\cdot\frac{3}{8}\cdot\frac{mv_0^2}{2} = mc_s\cdot(t_o - t) + m\lambda_t + mc_e(t_f - t_o).$$

Temperatura finală este:

$$t_f = \frac{2{,}7}{8}\cdot\frac{v_0^2}{2c_e} - (t_o - t) + \frac{\lambda}{c_e} + t_o.$$

Cu datele numerice se obține

$$t_f = \frac{2{,}7}{8}\cdot\frac{600^2\ m^2 s^{-2}}{2\cdot 125\ J\cdot kg^{-1}\ grd^{-1}} - 300^oC + \frac{21000\ J\ kg^{-1}}{125\ J\cdot kg^{-1}\cdot grd^{-1}} + 327^oC = 345^oC$$

7.5. Care este căldura necesară pentru topirea a 5 kg de cupru, dacă temperatura lui inițială este de 84°C și temperatura de topire 1084°C? (c_{Cu} =

= 380 J/kg·grd, λ_t = 175000 J/kg)

7.6. Să se calculeze căldura consumată pentru a transforma 2 kg de gheață cu temperatura de --50°C în apă cu temperatura de 50°C ($c_{gheață}$ = 2090 J/kg·grd, λ_t = 334,4 kJ/kg). Să se traseze diagrama procesului.

7.7. 2 kg de apă cu temperatura t_1 = 90°C trebuie răcite repede până la temperatura θ = 15°C. Câtă gheață cu temperatura t_2 = --20°C este necesară pentru a face această răcire?

7.8. 10 kg de plumb cu temperatura inițială de 27°C trebuie topite cu ajutorul unei lămpi cu petrol cu randamentul de 30%. Care este cantitatea de petrol consumată în acest scop? ($q = 4598 \cdot 10^4$ J/kg)

7.9. De pe străzi cu suprafața totală de 10000 m^2 s-a curățat zăpada cu ajutorul aparatelor de topit zăpada. Să se calculeze ce cantitate de lemn trebuie arsă în acest scop, dacă zăpada are 20 cm grosime, densitatea 0,3 și temperatura --20°C. Puterea calorică a lemnelor este de 13376 KJ/kg, iar randamentul aparatului de 60%.

7.10. Într-un calorimetru de fier cu masa de 1000 g se găsesc 1000 g de apă cu temperatura inițială de 15°C. În apa din calorimetru se toarnă o cantitate de 200 g de cositor topit, la temperatura de 480°C. Temperatura finală devine 22,5°C. Să se calculeze căldura latentă specifică de topire a cositorului, căldurile specifice în stare solidă și lichidă pentru cositor fiind presupuse egale ($c_s = c_1$ = 250 J/kg·grd; t_0 = 232°C; c_{Fe} = 460 J/kg·grd).

7.11. Două bucăți de gheață de câte 500 g și cu temperatura de 0°C se freacă între ele, consumându-se un lucru mecanic egal cu 200000 J. Câtă gheață s-a topit, considerând că tot lucrul mecanic s-a transformat în căldură? Ce energie în kWh este necesară pentru topirea întregii cantități de gheață? λ_t = = 334,4 kJ/kg.

7.12. Câtă zăpadă cu temperatura de 0°C se poate topi sub roțile unui autocamion cu puterea de 42,7 CP, dacă el patinează un minut, iar 60% din puterea motorului este folosită la învârtirea roților?

7.13. O sanie cu masa de 1 t se deplasează pe un drum orizontal. Zăpada pe care alunecă are temperatura de 0°C și coeficientul de frecare dintre sanie și zăpadă este 0,04. Să se calculeze câtă zăpadă se topește sub sanie pe distanța de 1 km.

7.14. Într-un cuptor se introduc 5 t de fontă cu temperatura inițială de 65°C. Temperatura de topire a fontei fiind 1165°C, să se calculeze cantitatea de cărbune necesară arderii într-un cuptor al cărui randament este de 60%, pentru a se aduce fonta la temperatura de turnare, de 1365°C (c = 459,8 J/kg·K; q = = 31350 kJ/kg, λ_t = 96,14 kJ/kg).

7.15. Într-un calorimetru cu masa de 200 g și căldura specifică de 920 J/kg·grd se găsește apă cu temperatura de 40°C. În ea se mai introduce o bucată de cupru de 100 g, cu temperatura de 100°C, și 25 g gheață cu temperatura de –20°C. Să se calculeze masa apei din calorimetru la începutul experienței, dacă temperatura finală a amestecului devine 25°C. (c_{cupru} =

= 380 J/kg·grd; $c_{gheață}$ = 2090 J/kg·grd; $\lambda_{gheață}$ = 334,4 kJ/kg)

7.16. Într-o stațiune polară, apa necesară activității zilnice se obține din gheață, prin topire. Dacă zilnic sunt necesare 1000 kg de apă cu temperatura de 25°C, să se calculeze consumul zilnic de petrol al mașinii folosite la topirea gheții, randamentul ei fiind de 40%. Gheața are temperatura inițială de --50°C și căldura specifică de 2090 J/kg·grd. În stațiune existând o rezervă de petrol de 10m^3, cu densitatea 0,85 g/cm^3, să se calculeze pentru câte zile este suficientă cantitatea de petrol.

7.17. Solul fiind acoperit de un strat de zăpadă gros de 0,02 m, cu temperatura de --5°C, presupunem că va cădea pe el o ploaie cu temperatura de 10°C în momentul căderii. Care trebuie să fie înălțimea apei rezultate din ploaie pentru ca toată zăpada să se topească? Densitatea zăpezii se consideră 0,1. Se presupune că solul nici nu primește, nici nu cedează căldură.

7.18. Într-un calorimetru care cuprinde 294 g de apă cu temperatura de 15°C, se varsă 25 g de fosfor topit cu temperatura de 64°C. Temperatura finală a calorimetrului ajunge la 16,1°C. Să se calculeze căldura specifică de topire a fosforului. Echivalentul în apă al calorimetrului este 32,3 g; t_0 = 44°C; c_l = = 852,72 J/kg·grd și c_s = 786,06 J/kg·grd.

7.19. Un glonț de plumb intră într-o scândură groasă cu viteza de 500 m/s și temperatura de 27°C. Ce se întâmplă cu el, se topește sau nu? Care va fi temperatura finală? (c = 125 J/kg·grd; λ_t = 21 kJ/kg; t_{topire} = 327°C)

Vaporizarea și condensarea

7.20. În 100 g de apă cu temperatura t_1 = 20°C se introduc 20 g de gheață cu temperatura t_2 = −10°C și apoi vapori de apă uscați cu temperatura t_3 = 100°C. Să se calculeze masa vaporilor folosiți, dacă temperatura finală a amestecului devine θ = 40°C.

Rezolvare. Graficele schimbărilor stărilor de agregare pot fi urmărite în figura 61. Starea finală a amestecului corespunde punctului M, iar căldurile sunt indicate pe grafic.

Q_1 este căldura latentă de condensare a vaporilor la 100°C;

Q_2 – căldura cedată de apa rezultată din vapori, care se răcește de la 100°C la 40°C;

Q_3 – căldura primită de apa care se încălzește de la 20°C la 40°C;

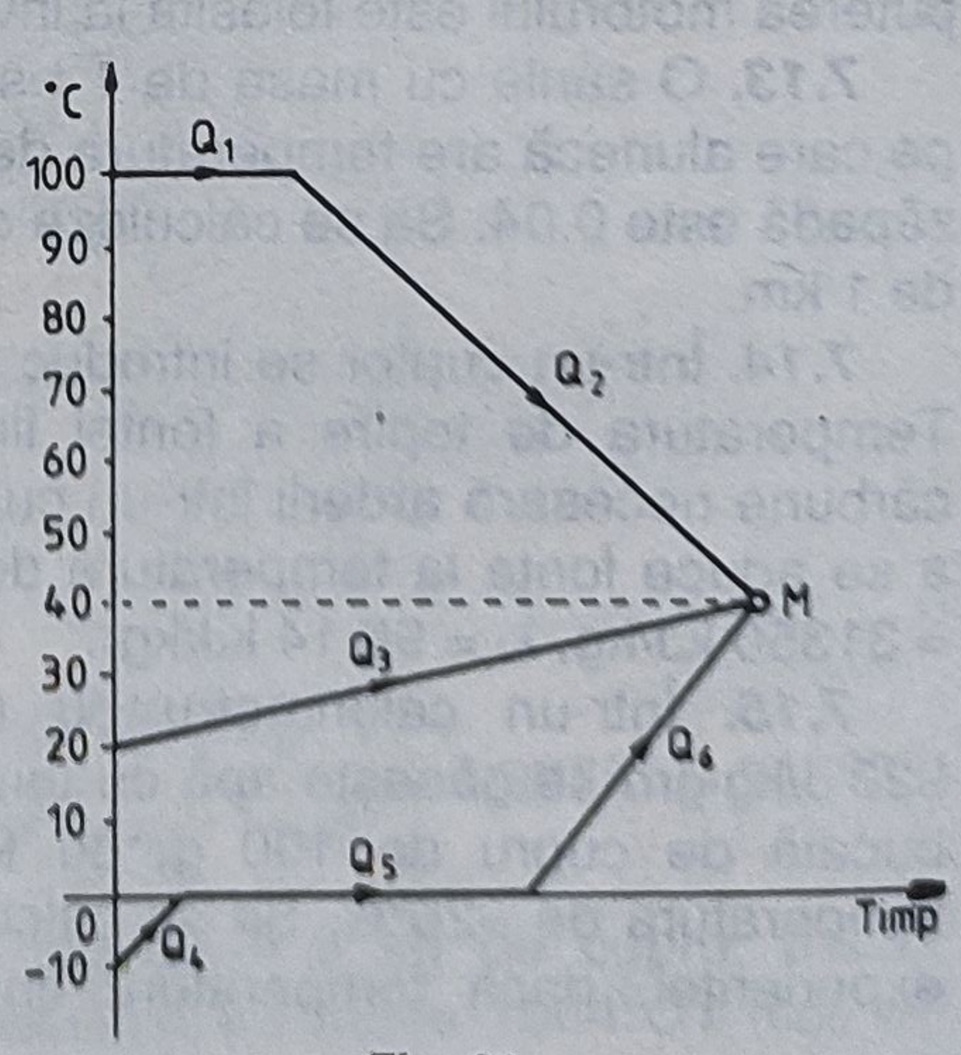


Fig. 61.

Q_4 -- căldura primită de gheață ca să se încălzească de la --10°C la 0°C;
Q_5 -- căldura latentă de topire a gheții;
Q_6 -- căldura primită de apa rezultată din gheață, ca să se încălzească de la 0°C la temperatura finală, de 40°C.

Ecuația de echilibru este:

$$|Q_1 + Q_2| = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

sau:

$$m_3\lambda_v + m_3 c_a (t_3 - \theta) = m_1 c_a (\theta - t_1) + m_2 c_g (0^o - t_2) + m_2\lambda_t + m_2 c_a (\theta - 0^o)$$

de unde se scoate masa vaporilor, m_3:

$$m_3 = \frac{m_1 c_a (\theta - t_1) + m_2[c_g (0^oC - t_2) + \lambda_t + c_a (\theta - 0^oC)]}{\lambda_v + c_a (t_3 - \theta)}$$

Prin înlocuire rezultă:

$$m_3 = \frac{0{,}1 \cdot 4180\,(373 - 293) + 0{,}02[2090(273 - 263) + 334400 + 4180(313 - 273)]}{2\,257\,200 + 4180\,(373 - 313)}$$

$$m_3 = 0{,}075 \text{ kg}$$

sau, în sistemul tolerat:

$$m_3 = \frac{100\text{g} \cdot \frac{1\text{cal}}{\text{g}\cdot\text{grd}}(40 - 20)\text{grd} + 20\text{g}[0{,}5\frac{\text{cal}}{\text{g}}(0 + 10)\text{grd} + 80\frac{\text{cal}}{\text{g}} + 1\frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot\text{grd}}(40 - 0)\text{grd}]}{540\frac{\text{cal}}{\text{g}} + 1\frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot\text{grd}}(100 - 40)\text{grd}}$$

$$m_3 = 7{,}5 \text{ g}$$

7.21. O sferă cu volumul $V = 1\ m^3$ și capacitatea calorică $C = 100$ J/grd, conține gheață cu masa $m = 1$ kg și aer la presiunea normală, cu temperatura $t_0 = 0°C$. Totul se încălzește la temperatura $t = 100°C$.

Să se calculeze:

a) căldura necesară pentru încălzire, dacă se neglijează dilatarea sferei și volumul ocupat de gheață;

b) presiunea în interiorul sferei.

Masa molară medie a aerului $\mu_{aer} = 29$ g·mol^{-1} și $c_v = 710$ J/kg·K.

Rezolvare. a) În interiorul sferei, la 100°C avem apă și aer la această temperatură și vapori saturanți, care, pentru această temperatură, au o presiune egală cu presiunea normală. Deci:

$$Q = m\lambda_t + (mc_{apă} + m_{aer}\, c_{aer} + C)\Delta t + m_v\lambda_v$$

Masa vaporilor și a aerului se calculează din ecuația de stare a gazelor perfecte:

$$p_0V = \frac{m_v}{\mu}RT \Rightarrow m_v = \frac{\mu p_0 V}{RT}$$

$$p_0V = \frac{m_{aer}}{\mu_{aer}}RT_0 \Rightarrow m_{aer} = \frac{\mu_{aer}\, p_0 V}{RT_0}$$

Căldura necesară încălzirii este:

$$Q = m\lambda_t + \left(mc_{apă} + \frac{\mu_{aer} p_0 V}{RT_0}\cdot c_{aer} + C\right)(t - t_0) + \frac{\mu p_0 V}{RT}\lambda_v$$

Înlocuind cu valorile numerice, rezultă:

$$Q = 2261{,}9 \text{ kJ}$$

b) Presiunea în interiorul sferei se obține din legea lui Dalton, fiind suma presiunilor parțiale – a aerului și a vaporilor de apă saturanți – la temperatura de 100°C.

$$p = p_{aer} + p_{vap}.$$

Presiunea aerului se calculează aplicând legea transformării izocore:

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_{aer}}{T} \Rightarrow p_{aer} = p_0 \cdot \frac{T}{T_0}$$

Atunci:

$$p = p_0 \cdot \frac{T}{T_0} + p_0 = p_0\left(\frac{T}{T_0} + 1\right)$$

Din datele problemei rezultă:

$$p = 101325 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}\left(\frac{373}{273} + 1\right) = 239765 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$$

7.22. Într-un calorimetru cu echivalentul în apă m = 50 g, ce cuprinde m_1 = = 450 g de apă cu temperatura $t_1 = 20°C$, se introduc vapori de apă cu temperatura $t_2 = 100°C$ și volumul V = 3,73 l, la presiunea $p = 10^5$ Pa.

Să se calculeze:

a) temperatura finală în calorimetru;

b) variația energiei interne în procesul izoterm, la condensarea vaporilor de

apă.

Rezolvare. Așa cum se observă și din graficele din figura 62, vaporii de apă cedează căldură prin condensare și răcire a apei rezultate până la temperatura de echilibru, iar apa și calorimetrul se încălzesc, deci:

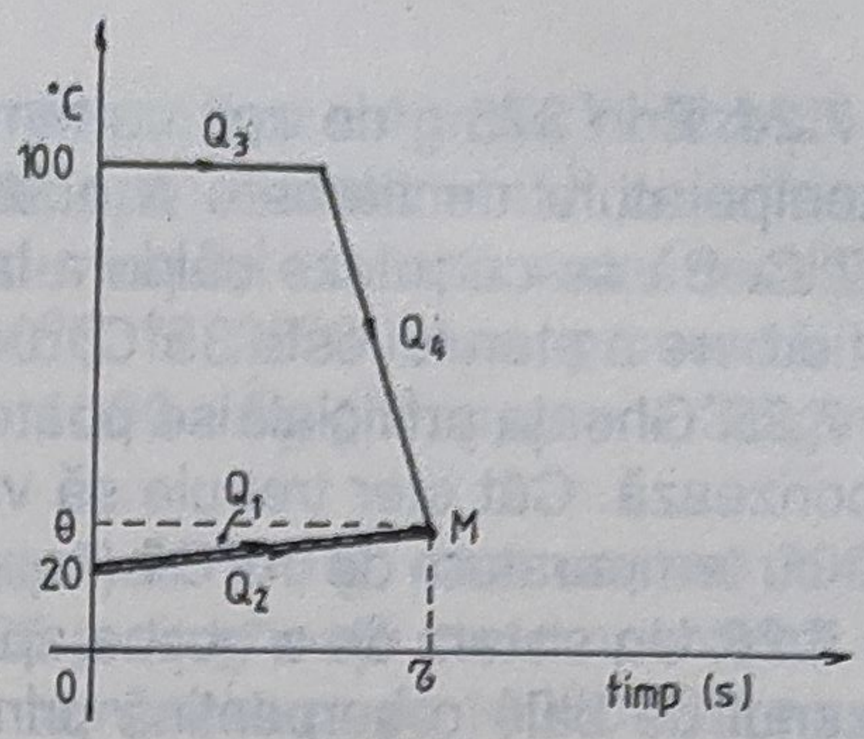


Fig. 62.

$$|Q_3 + Q_4| = Q_1 + Q_2$$

sau, explicitat:

$$m_v\lambda_v + m_v\, c_{apă}\,(t_2 - \theta) = (m_1 + m)\,c_{apă}\,(\theta - t_1) \qquad (1)$$

Din relația (1) se obține temperatura finală, θ:

$$\theta = \frac{m_v\,(\lambda_v + c_{apă}\,t_2) + (m_1 + m)\,c_{apă}\,t_1}{(m_1 + m_v + m)\,c_{apă}}$$

Masa vaporilor se obține din ecuația de stare, vaporii fiind asimilați cu un gaz:

$$pV = \frac{m_v}{\mu}\cdot RT \Rightarrow m_v = \frac{\mu pV}{RT} = \frac{18\ \frac{kg}{kmol}\cdot 10^5\ \frac{N}{m^2}\cdot 3{,}73\cdot 10^{-3}\ m^3}{8314\ \frac{J}{kgK}\cdot 373\ K} = 0{,}002\ kg$$

De unde, numeric, se obține θ:

$$\theta = \frac{2\cdot 10^{-3}\,(2250000 + 4180\cdot 100) + 0{,}5\cdot 4180\cdot 20}{0{,}502\cdot 4180} = 21{,}2^{\circ}C$$

b) Variația energiei interne se obține prin aplicarea primului principiu al termodinamicii, în care căldura este căldura latentă de condensare:

$$\Delta U = m_v\lambda_v - p\Delta V = m_v\lambda_v - p\,(v_v - v_{apă})$$

Folosind valorile numerice, se obține:

$$\Delta U = 2\cdot 10^{-3}\ kg\cdot 2250\cdot 10^3\ \frac{J}{kg} - (3{,}73\cdot 10^{-3}\ m^3 - 2\cdot 10^{-6}\ m^3)\cdot 10^5\ \frac{N}{m^2} \approx 4127\ J$$

7.23. Ce căldură este necesară pentru a încălzi până la fierbere 200 g de apă cu temperatura inițială de 20°C și pentru a vaporiza din ea 25 g? ($\lambda_v = 2257{,}2$ kJ/kg)

7.24. Prin 375 g de apă cu temperatura de 15°C se trec 18 g vapori de eter la temperatura de fierbere a acestuia. Temperatura amestecului a crescut la 19,7°C. Să se calculeze căldura latentă de vaporizare a eterului. (Temperatura de fierbere a eterului este 35°C; c = 2,341 kJ/kg·K.)

7.25. Gheața artificială se poate obține răcind apa cu ajutorul eterului care se vaporizează. Cât eter trebuie să vaporizăm ca să obținem 10 kg de gheață din apă cu temperatura de 10°C? ($\lambda_{v(eter)}$ = 355,3 kJ/kg)

7.26. Un sistem de a obține apă caldă pentru baie este acela de a trece prin cazanul de baie o serpentină prin care circulă vapori de apă. În mod normal, pentru o baie se folosesc 300 kg de apă. Pentru încălzirea a 300 kg de apă cu temperatura inițială de 10°C s-au întrebuințat 15 kg de vapori de apă cu temperatura inițială de 100°C. Să se calculeze la ce temperatură a ajuns apa din cazan, a cărui masă este de 5 kg și care are căldura specifică 0,09 cal/g·grd, masa serpentinei fiind 1 kg (λ_v = 2260 kJ/kg).

7.27. Care este căldura necesară ca să transformăm 10 kg de gheață cu temperatura de –15°C în vapori de apă cu temperatura de 100°C? Care va fi volumul ocupat de vapori la această temperatură și la presiunea normală? (λ_t = = 340 kJ/kg, λ_v = 2300 kJ/kg, c_g = 2100 J/kg·grd)

7.28. Un lac are suprafața de 225 m^2. Ce cantitate de căldură este necesară pentru ca apa să se evaporeze, astfel ca nivelul să scadă cu 1 cm? Dacă apa nu s-ar evapora și toată căldura ar fi înmagazinată de apa din lac, cu adâncimea de 1 m, cu cât s-ar ridica temperatura apei? (Căldura de vaporizare a apei se consideră 2500 kJ/kg.)

7.29. O bucată de cupru cu masa de 2 kg și temperatura de 1000°C se introduce în 1,6 kg de apă cu temperatura de 25°C. Apa își ridică temperatura până la 100°C și o parte din ea se vaporizează. Care este cantitatea de apă ce s-a vaporizat? (c_{Cu} = 376 J/kg·grd; $\lambda_{v\ apă}$ = 2260 kJ/kg)

7.30. În 10 kg de apă cu temperatura de 0°C introducem 5 kg de gheață tot cu temperatura de 0°C. În acest amestec se introduce o bucată de fier cu temperatura de 900°C, astfel că tot amestecul capătă temperatura de 100°C, iar 200 g de apă se vaporizează. Să se calculeze masa bucății de fier folosite (c_{Fe} = = 460 J/kg·grd; $\lambda_{v\ apă}$ = 2260 kJ/kg).

7.31. Într-un amestec format din 5 kg de apă și 2 kg de gheață cu temperatura de 0°C se introduc vapori de apă cu temperatura de 100°C. Temperatura amestecului ajunge la 75°C. Care este cantitatea de vapori folosită?

7.32. Pentru a se determina căldura latentă specifică de vaporizare a alcoolului, se face următoarea experiență. Într-un calorimetru de cupru cu masa de 1000 g se toarnă 1200 g de apă cu temperatura inițială de 0°C. Apoi se introduc, prin serpentina din apă, vapori de alcool proveniți din fierberea a 400 g de alcool la temperatura de 78°C. Vaporii de alcool se condensează. Temperatura finală ajunge la 66,5°C. Să se calculeze căldura latentă specifică de vaporizare a alcoolului.

7.33. Aerul dintr-o cameră cu dimensiunile 5 m x 4 m x 4 m se încălzește cu ajutorul unui radiator de calorifer cu vapori de apă. Randamentul caloriferului fiind de 50%, să se calculeze ce cantitate de vapori de apă este necesară pentru a ridica temperatura aerului de la 10°C la 25°C. Apa provenită din condensarea vaporilor ajunge la 85°C (c_{aer} = 1000 J/kg·grd; ρ_{aer} = 1,3 kg/m^3; λ_v = 2260 kJ/kg).

7.34. Într-un calorimetru de aluminiu cu masa de 100 g, care conține 300 g de apă cu temperatura de 10°C, se introduc 25 g de gheață cu temperatura de –30°C și apoi 20 g de vapori de apă uscați, cu temperatura de 100°C. Care va fi temperatura finală a amestecului? (c_{Al} = 920 J/kg·grd; $c_{gheață}$ = 2090 J/kg·grd, λ_v = 2260 kJ/kg, λ_t = 334 kJ/kg).

7.35. Ce lucru mecanic corespunde energiei calorice necesare pentru ca 10 kg de apă cu temperatura de 10°C să se încălzească până la 100°C și apoi să se vaporizeze la aceeași temperatură?

7.36. Căldura latentă specifică de vaporizare a amoniacului lichid fiind de 209·10^4 J/kg, se cere cantitatea de gaz lichefiat ce trebuie vaporizat pentru a îngheța 1 l de apă cu temperatura de 20°C. Vasul cântărește 500 g și are căldura specifică 418 J/kg·grd. Se ia densitatea apei 1 g/cm^3.

7.37. La un generator de vapori se folosește cărbune de pământ care cuprinde 75% C și 5% H. Ce cantitate de cărbune trebuie arsă pentru a obține 100 kg vapori de apă sub presiune, dacă apa fierbe la 187°C și căldura latentă de vaporizare este 2000 kJ/kg? Puterea calorică a carbonului este 3344·10^4 J/kg, iar a hidrogenului 14212·10^4 J/kg. Din focar, 30% din căldura produsă prin ardere este evacuată cu gazele. Temperatura inițială a apei este de 17°C.

7.38. Un arzător cu gaze cu randamentul η = 80% folosește ca sursă de alimentare o butelie cu gaz metan de volum V = 0,25 m^3, la o presiune inițială p = 6,2 atm și la temperatura t = 27°C. Arzătorul este folosit la procesul de distilare a alcoolului etilic până când presiunea în butelie scade la valoarea p_1 = = 1,2 atm. Dacă puterea calorică a metanului este q = 3,6·10^7 J/m^3, să se calculeze:

a) masa de alcool ce poate fi distilată, dacă temperatura inițială a soluției este t_1 = 18°C și cea de fierbere t_2 = 78°C;

b) debitul apei de răcire, dacă distilarea durează τ = 2 h și la intrare apa are temperatura t' = 15°C, iar la ieșire t" = 35°C.

7.39. În 100 g de apă cu temperatura de 20°C se introduc 40 g de gheață cu temperatura de –20°C. Se va topi toată gheața? Dacă nu, care este masa de gheață care plutește? După topire se introduc 4,555 g de vapori de apă uscați la 100°C. Să se calculeze temperatura finală a amestecului. ($c_{gheață}$ = 2090 J/kg·K, λ_t = 334 kJ/kg, λ_v = 2260 J/kg)

7.40. Două baloane, A și B (fig. 63), cu volumele V_A = 2 l și V_B = 2,25 l, comunică la partea superioară printr-un tub de volum neglijabil, prevăzut cu robinet. Inițial, robinetul este închis. În balonul A se găsește azot la presiunea p_a = 1,4·10^5 Pa, cu temperatura t_1 = 17°C, iar în balonul B, apă cu masa m =

= 250 g și vapori de apă la aceeași temperatură, t_1. Se deschide robinetul și sistemul de baloane se aduce la temperatura $t_2 = 100°C$.

Să se calculeze, după încălzire:

a) presiunea din baloane;

b) energia totală a moleculelor din atmosfera gazoasă;

c) căldura necesară pentru trecerea sistemului de la temperatura t_1 la temperatura t_2. Se neglijează dilatarea baloanelor și a apei din balonul B. Presiunea vaporilor de apă la 17°C este $p' = 1929$ Pa.

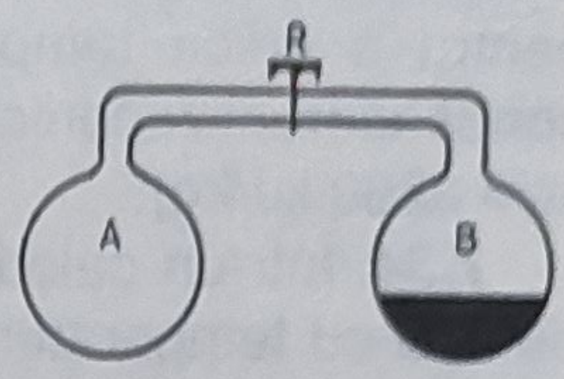


Fig. 63.

7.41. O uzină chimică utilizează 200 kg abur pe oră la presiunea normală. În cuptorul generatorului de vapori se ard cărbuni cu puterea calorică $q = 209 \cdot 10^5$ J/kg. Se consideră că numai 60% din căldura rezultată la arderea combustibilului este preluată de apă. Să se calculeze consumul orar de combustibil. Apa are, la intrare, temperatura $t_1 = 10°C$.

7.42. Un balon de sticlă cu volumul V = 5 l conține oxigen și vapori de apă la temperatura $t_1 = 117°C$, iar presiunea indicată de manometrul cu care este prevăzut este $p'_1 = 1{,}5 \cdot 10^5$ Pa. Se răcește balonul și conținutul său până la temperatura $t_2 = 0°C$. Care va fi indicația manometrului, dacă masa de oxigen este 4,93 g, când:

a) nu se ține seama de dilatarea balonului;

b) se ține seama de dilatarea balonului.

($\mu_{O2} = 32$ g/mol; presiunea vaporilor la 0°C = 4,58 torr; $\alpha_{sticlă} = 9 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1})

7.43. Într-un vas de capacitate calorică neglijabilă se găsește apă cu masa $m_1 = 2$ kg și temperatura $t_1 = 10°C$. În vas se introduce gheață cu masa $m_2 = 0{,}5$ kg și temperatura $t_2 = -10°C$ și vapori de apă la temperatura $t_3 = 100°C$, astfel ca în final să rezulte numai apă la temperatura $t_4 = 0°C$. Să se calculeze masa necesară, m_3, a vaporilor de apă și să se traseze graficul procesului.

7.44. O bucată de gheață cu masa *M* se încălzește până la topirea fracțiunii n = 0,5 din masa ei. Să se determine:

a) temperatura inițială *t* a gheții, astfel ca lucrul mecanic efectuat în cursul încălzirii să fie nul. Procesul are loc la presiunea normală, coeficientul de dilatare în volum $\gamma = 10^{-5}$ grd^{-1} și variația unității de volum prin topire la temperatura normală de topire este $v = \Delta V/V_0 = 10^{-4}$;

b) căldura absorbită de gheață în cursul procesului cu căldura specifică sensibilă c = 2100 J/kg·K și căldura latentă specifică $\lambda_t = 334$ kJ/kg.

7.45. Se încălzește o masă de apă m = 4 kg, de la temperatura $t_1 = 10°C$, la presiunea atmosferică normală și se consumă căldura Q = 828 kcal de la un încălzitor cu randamentul $\eta = 50\%$.

Să se calculeze:

a) starea finală a apei;

b) volumul V al vaporilor, corespunzător stării găsite;

c) energia cinetică medie a moleculelor de apă;

d) lucrul mecanic la destinderea izobară a vaporilor obținuți prin dublarea volumului.

7.46. Un vas cu capacitatea calorică $C = 200$ J/kg conține 8 kg de alcool etilic pentru purificat, cu temperatura inițială $t_1 = 15^\circ C$. Vasul este încălzit cu ajutorul unui arzător cu randamentul $\eta = 30\%$ și cu un debit de ardere a petrolului $D_0 = 4$ g/min. Să se afle:

a) după cât timp începe fierberea alcoolului;

b) debitul de formare a vaporilor în timpul fierberii;

c) debitul apei de răcire, care are la intrare temperatura $t'_1 = 15^\circ C$ și la ieșire temperatura $t''_2 = 35^\circ C$.

7.47. Un vas cu capacitatea calorică $C = 100$ J/K conține apă cu masa $m = 2$ kg și temperatura $t_0 = 0^\circ C$ și se încălzește cu ajutorul unui reșou electric cu randamentul $\eta = 60\%$.

Să se calculeze:

a) după cât timp toată apa este vaporizată, dacă în timpul $\tau_1 = 12$ minute apa este adusă la fierbere;

b) puterea consumată de reșou.

7.48. În figura 64 este trasat graficul variației temperaturii apei în funcție de timpul de încălzire uniformă cu o sursă de căldură de putere P. Căldura Q_2, corespunzătoare palierului, se primește în intervalul de timp $\Delta\tau_2 = 9$ min. În cât timp se realizează căldurile Q_1 și Q_3, indicate în grafic? Ce legătură există între unghiurile de înclinare α_1 și α_2 din grafic ? Ce semnificații au căldurile respective ?

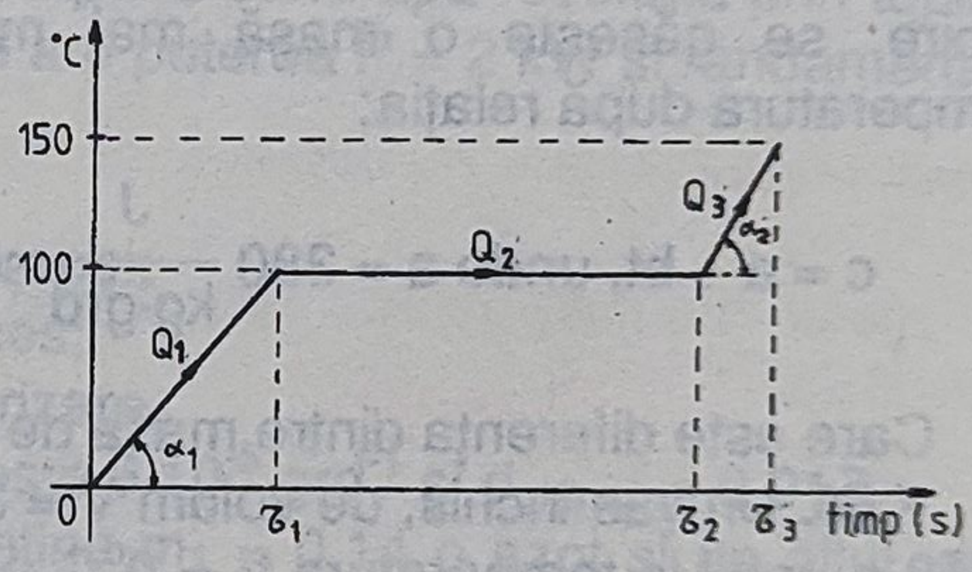


Fig. 64.

7.49. Într-un vas se află $m_1 = 100$ g de apă și $m_2 = 8$ g de gheață în stare de echilibru termic la presiunea normală. Să se calculeze:

a) cantitatea de combustibil necesară transformării maselor de apă și gheață în stare de vapori la $100^\circ C$, dacă randamentul încălzitorului este $\eta = 80\%$;

b) volumul vaporilor la temperatura $t_1 = 100^\circ C$;

c) lucrul mecanic efectuat de vapori la încălzirea până la temperatura $t_2 = 150^\circ C$ și la presiune normală.

Puterea calorică a combustibilului este $q = 29{,}26$ MJ/kg.

7.50. Într-un calorimetru de alamă cu masa $m_1 = 200$ g se găsește apă cu masa $m_2 = 1$ kg și o masă de gheață $m_3 = 400$ g la echilibru termic, presiunea exterioară fiind normală. În apa din vas se introduc vapori de apă, cu temperatura $t_2 = 100^\circ C$, cu un debit $Q_v = 0{,}1$ l/s. Să se calculeze după cât timp temperatura de echilibru în calorimetru ajunge la valoarea $\theta = 21^\circ C$.

7.51. Să se calculeze cantitatea de eter care prin vaporizare duce la obținerea unei cantități de gheață egală cu aceea obținută din apă cu masa m = 1 kg la temperatura de 0°C aflată sub clopotul unei mașini pneumatice în funcțiune. (λ_g = 334 kJ/kg; $\lambda_{vap.eter}$ = 370 kJ/kg; $\lambda_{v\ apă}$ = 2501 kJ/kg).

7.52. Apa dintr-un vas cu temperatura t = 20°C se încălzește cu ajutorul unui reșou cu puterea P și randamentul η. Ea este adusă la fierbere în timpul τ_1 = = 9 min. Să se calculeze:

a) după cât timp, τ', apa adusă la fierbere se va vaporiza;

b) tangenta unghiului α, al graficului de variație a temperaturii apei în funcție de timpul de încălzire.

7.53. O piesă de oțel cu masa m = 3 kg și temperatura t_1 = 1000°C este introdusă pentru răcire rapidă (călire) într-un vas cu echivalentul în apă m_2 = = 500 g, care conține apă cu masa m_3 = 3 kg și cu temperatura t_2 = 20°C. Temperatura finală atinsă este θ = 80°C. Să se calculeze masa de apă vaporizată în acest proces.

7.54. O bucată de cupru cu masa m = 2 kg și temperatura t = 1000°C se așază pe un bloc de gheață cu temperatura t_0 = 0°C. Căldura specifică sensibilă medie a cuprului este c' = 400 J/kg·grd. Dacă se cântărește apa rezultată prin topire, se găsește o masă mai mare, datorită faptului că c variază cu temperatura după relația:

$$c = a + bt, \text{ unde } a = 380\ \frac{J}{kg\cdot grd} \text{ și } b = 0{,}1\ \frac{J}{kg\cdot grd^2}.$$

Care este diferența dintre masa de apă rezultată prin topire și cea calculată?

7.55. Un vas închis, de volum V = 34 l, conține hidrogen și apă cu masa m = = 18 g, totul la temperatura t_0 = 0°C. Să se calculeze căldura necesară aducerii sistemului la temperatura t = 100°C, dacă presiunea interioară devine p = = 201209 Pa și se neglijează dilatarea vasului și căldura absorbită de el.

7.56. În figura 65 se dă graficul variației temperaturii unei mase de apă în funcție de timpul de încălzire uniformă cu o sursă de putere P.

Să se arate:

a) căror stări le corespund segmentele AB, BC, CD, DE și EF;

b) cum variază forțele de legătură dintre molecule;

c) care este variația energiei interne a gheții, apei și vaporilor;

d) din ce cauză înclinările dreptelor AB, CD și EF sunt diferite.

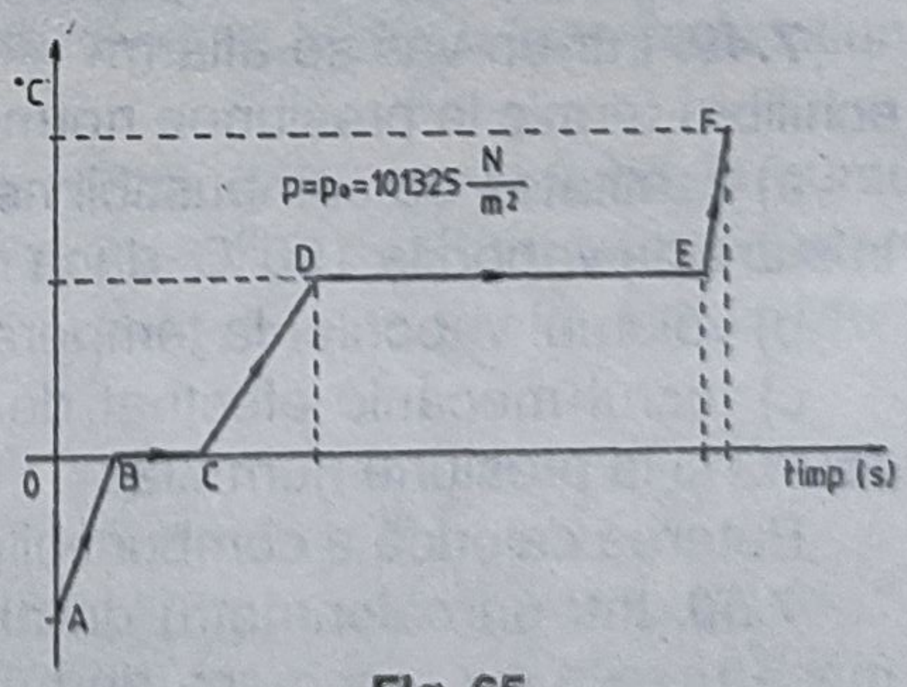


Fig. 65.

7.57. Într-un calorimetru se amestecă m grame de gheață cu temperatura $t_0 = 0°C$ cu m' grame de apă cu temperatura t. Să se calculeze temperatura finală a amestecului, dacă se neglijează capacitatea calorică a calorimetrului.

7.58. a) Un cazan pentru încălzirea apei consumă într-o oră 1,8 m^3 gaz metan. Curentul de apă din serpentina încălzitorului are viteza $v = 0,5$ m/s și diametrul serpentinei este $d = 1$ cm. Temperatura inițială a apei și a gazului fiind $t_1 = 11°C$, să se determine temperatura t_2 a apei încălzite, dacă randamentul încălzitorului este $\eta = 0,6$ și gazul din conductă are presiunea $p = 1,2$ atm. Puterea calorică a metanului este $q = 54 \cdot 10^6$ J/kg și masa moleculară este 16.

b) Cu ce viteză circulă gazul metan prin conductă, dacă aceasta are diametrul $D = 1,5$ cm, și care este debitul de masă?

7.59. Într-un calorimetru de capacitate calorică neglijabilă, ce conține $m = 0,5$ kg de gheață la temperatura $t_1 = -10°C$, se introduce un curent de vapori de apă cu temperatura $t = 100°C$ și presiunea normală. Viteza vaporilor prin tubul de alimentare cu diametrul $d = 1$ cm este $v = 0,5$ m/s. Să se calculeze după cât timp temperatura în calorimetru devine $\theta = 25°C$.

7.60. O cantitate de gheață $m = 8$ kg, cu temperatura $t_1 = -20°C$, se încălzește la presiunea atmosferică normală până când apa rezultată prin topire se vaporizează complet. Sursa de încălzire are puterea $P = 2$ kW și randamentul $\eta = 0,8$.

Să se calculeze:

a) după cât timp se încheie vaporizarea apei;

b) variația energiei interne în acest proces;

c) variația entropiei în procesul de vaporizare.

Coeficientul de dilatare liniară al gheții este $5 \cdot 10^{-5}$ grd^{-1} și $d_{gheață} = 0,917$.

7.61. Un vas de volum $V_1 = 1,60$ l conține $m_1 = 0,14$ g azot și un altul, de volum $V_2 = 3,40$ l, conține $m_2 = 0,16$ g oxigen. Gazele se găsesc la aceeași temperatură. Vasele se pun în legătură cu ajutorul unui tub de volum neglijabil și se amestecă. Să se calculeze variația entropiei gazelor în această transformare, precum și variația energiei interne.

7.62. Într-un calorimetru de capacitate calorică neglijabilă se află $m_1 = 2$ kg de gheață pisată, cu temperatura $t_1 = -40°C$. În calorimetru se introduce $m_2 = 0,286$ kg apă cu temperatura $t_2 = 20°C$. Să se stabilească prin calcul starea finală a sistemului.

7.63. Într-un termos se găsește o cantitate de apă $m_1 = 50$ g, cu temperatura $t_1 = 20,0°C$. În termos se introduce o bucată de gheață cu masa $m_2 = 4$ g și cu temperatura $t_2 = 0°C$. Să se calculeze:

a) temperatura de echilibru, θ, ce se realizează în termos;

b) variația entropiei sistemului gheață – apă după realizarea echilibrului termic.

8. Umiditatea atmosferică. Higrometrie

Considerații teoretice

Aerul atmosferic este un amestec de gaze și vapori de apă. Vaporii de apă provin din evaporarea apei de la suprafața Pământului, din respirația plantelor și animalelor și din procesele de ardere a combustibililor. Cantitatea de apă ce se găsește în atmosferă variază după anotimp, temperatură și poziție geografică. Gradul de umiditate nu depinde de cantitatea de vapori de apă, ci de presiunea lor.

Masa vaporilor de apă dintr-un centimetru cub de aer se numește *umiditate absolută*.

Pentru caracterizarea umidității aerului se folosește și *umiditatea relativă*.

Raportul dintre presiunea vaporilor nesaturanți care se află la un moment dat în atmosferă, la o anumită temperatură, și presiunea vaporilor saturanți, la aceeași temperatură, se numește *umiditate relativă* sau *stare higrometrică*.

Umiditatea relativă [%] = $B = 100\ p/p_{max}$.

Vaporii saturanți sunt vaporii care se găsesc în echilibru dinamic cu lichidul generator. Presiunea vaporilor saturanți crește mai repede cu temperatura în comparație cu gazele. Vaporilor nesaturanți li se pot aplica legile gazelor. În cazul vaporilor saturanți, datorită variației masei se poate folosi ecuația densității:

$$\rho = \mu p/RT$$

Presiunea vaporilor saturanți funcție de temperatură se găsește în tabele. Umiditatea relativă se mai poate exprima și cu ajutorul densităților:

$$B = 100\ \rho_v/\rho_s$$

ρ_v = densitatea vaporilor existenți în atmosferă;
ρ_s = densitatea vaporilor saturanți corespunzătoare aceleiași temperaturi.
Prin scăderea temperaturii, starea vaporilor se apropie de starea de

saturare.

Temperatura la care vaporii de apă din aer devin saturanți se numește *punct de aburire* sau *punct de rouă* (răcire izocoră).

Umiditatea atmosferică se măsoară cu ajutorul aparatelor numite *higrometre*.

Higrometrie

Aplicații

8.1. Într-un balon de volum V = 5 l, plin cu aer uscat la 0°C și la presiunea p_1 = 750 mm, se introduce apă cu masa m = 25 g și apoi se încălzesc balonul și conținutul până la 20°C. Să se calculeze, pentru volumul constant V:

a) noua presiune din balon;

b) ce masă de apă a trecut în stare de vapori;

c) densitatea relativă a vaporilor de apă în raport cu a aerului.

($\rho_{o_{aer}}$ = 1,293 kg/m^3)

Rezolvare. a) $p = p_{aer} + p_v$

Presiunea aerului se calculează din legea transformării izocore:

$$\frac{p_1}{T_0} = \frac{p_{aer}}{T} \Rightarrow p_{aer} = p_1 \frac{T}{T_0} = 750 \text{ torr} \frac{293 \text{ K}}{273 \text{ K}} \approx 805 \text{ torr}$$

Presiunea vaporilor depinde de masa lor și, în consecință, trebuie să vedem dacă sunt saturanți sau nu. Deci, vom calcula presiunea vaporilor corespunzătoare întregii mase de apă la temperatura t = 20°C.

$$pV = (m/\mu)\cdot RT \Rightarrow p = \frac{m}{\mu}\cdot\frac{RT}{V} = \frac{25\cdot10^{-3}\text{ kg}}{18\text{ kg kmol}^{-1}}\cdot\frac{83145\text{ kmol}^{-1}\text{ K}^{-1}\cdot290\text{ K}}{5\cdot10^{-3}\text{ m}^3} =$$

$$= 669738{,}8 \text{ Pa} = 5035{,}6 \text{ torr}$$

Se știe că la 100°C presiunea vaporilor saturanți este 760 torr. În cazul de față, presiunea este foarte mare -- vaporii sunt saturanți și presiunea lor se ia din tabele – și pentru 20°C are valoarea p_v = 17,5 torr.

Deci, presiunea totală va fi:

$$p = 805 \text{ torr} + 17{,}5 \text{ torr} = 822{,}5 \text{ torr}$$

b) Cunoscând presiúnea vaporilor – volumul și temperatura -- se poate folosi ecuația generală de stare a gazelor:

$$p_v V = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow m = \frac{\mu p_v V}{RT} = \frac{18 \cdot 2327{,}5 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{8314 \cdot 290} = 0{,}086 \text{ g}$$

c) Densitatea vaporilor de apă în condiții normale este:

$$\rho_{o_v} = \frac{\mu}{V_{\mu_o}} = \frac{18 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}}{23{,}4 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}} = 0{,}8035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densitatea relativă în raport cu aerul este raportul dintre densitatea absolută a vaporilor și a aerului în aceleași condiții de temperatură și presiune. Deci,

$$d = \frac{\rho_{o_v}}{\rho_{o_{aer}}} = \frac{0{,}8035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1{,}293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0{,}621 \approx \frac{5}{8}$$

8.2. Un volum de aer V = 100 cm^3, măsurat cu o eprubetă gradată răsturnată într-o cuvă cu apă la 27°C și sub presiunea atmosferică, crește cu ΔV = = 10 cm^3 când temperatura crește la 67°C, nivelul apei menținându-se același în eprubetă și în cuvă, prin deplasarea eprubetei. Să se calculeze:

a) valoarea presiunii atmosferice, în mm coloană de Hg;

b) masa vaporilor din eprubetă și de câte ori s-a mărit aceasta.

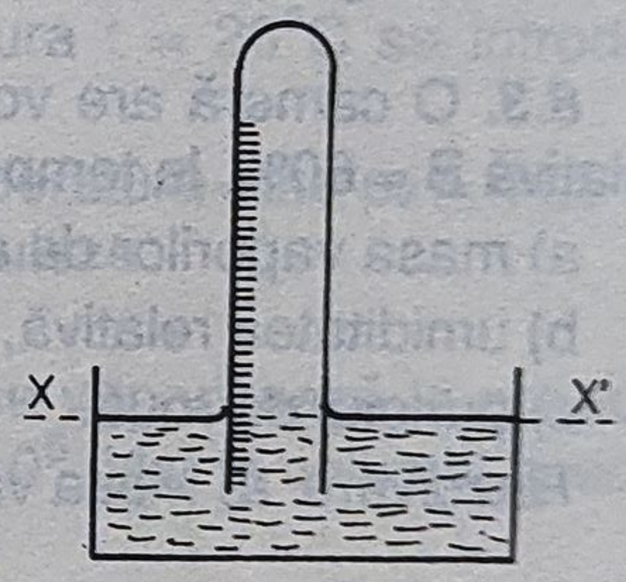


Fig. 66.

Rezolvare. Se consideră ca suprafață de nivel pentru echilibrul presiunilor suprafața apei din cuvă (fig. 66).

În acest caz, presiunea atmosferică H este echilibrată de presiunea aerului și a vaporilor de apă din eprubetă.

Pentru cele două temperaturi, avem:

$$H = p_{1aer} + p_{1vap} \text{ și } H = p_{2aer} + p_{2vap} \quad (1)$$

Presiunile vaporilor de apă, care sunt saturanți, se iau din tabele și se aplică legea transformării generale pentru masa de aer din eprubetă.

$$\frac{p_{1_{aer}} V}{T_1} = \frac{p_{2_{aer}} (V + \Delta V)}{T_2} \quad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$\frac{(H - p_{1vap})\,V}{T_1} = \frac{(H - p_{2vap})\,(V + \Delta V)}{T_2} \Rightarrow H = \frac{p_{1vap} T_2 V - p_{2vap}\,(V + \Delta V)\,T_1}{V T_1 - (V + \Delta V)\,T_2}$$

Folosind valorile numerice, cu $p_{1vap} = 27$ torr și $p_{2vap} = 200$ torr, avem:

$$H = \frac{27 \text{ torr} \cdot 340 \text{ K} \cdot 100 \text{ cm}^3 - 200 \text{ torr} \cdot 110 \text{ cm}^3 \cdot 300 \text{ K}}{100 \text{ cm}^3 \cdot 300 \text{ K} - 110 \text{ cm}^3 \cdot 340 \text{ K}} = 767{,}84 \text{ torr}$$

b) Masa vaporilor din eprubetă la temperatura t_1 și, respectiv, t_2 se calculează din ecuația de stare:

$$m_1 = \frac{\mu p_{1vap} V}{R T_1} = \frac{18 \text{ kg kmol}^{-1} \cdot 3591 \text{ Nm}^{-2} \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}{8314 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 300 \text{ K}} = 2{,}59 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$m_2 = \frac{\mu p_{2vap}\,(V + \Delta V)}{R T_2} = \frac{18 \text{ kg kmol}^{-1} \cdot 26600 \text{ Nm}^{-2} \cdot 11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}{8314 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 340 \text{ K}} = 0{,}0186 \text{ g}$$

$K = m_2/m_1 = 0{,}0186 \text{ g}/0{,}00259 \text{ g} = 7{,}18$

8.3. O cameră are volumul $V = 120 \text{ m}^3$ și aerul din ea prezintă o umiditate relativă $B = 60\%$, la temperatura $t = 15^\circ C$. Să se calculeze:

a) masa vaporilor de apă din cameră;

b) umiditatea relativă, dacă temperatura crește la $t_1 = 20^\circ C$;

c) punctul de rouă.

Rezolvare. a) Masa vaporilor se calculează din ecuația de stare:

$$pV = \frac{m}{\mu} \cdot RT \Rightarrow m = \frac{pV\mu}{RT} \qquad (1)$$

unde p este presiunea actuală a vaporilor ce se calculează din relația umidității absolute:

$$B = 100 \frac{p}{p_{max}} \Rightarrow p = \frac{B\,p_{max}}{100} \qquad (2)$$

Presiunea p_{max} este presiunea vaporilor saturanți la temperatura $t = 15^\circ C$, care se găsește în tabele și are valoarea $p_{max} = 12{,}8$ torr.

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$m = \frac{B\,p_{max}\,\mu\,V}{100} \cdot \frac{}{RT}$$

Folosind valorile numerice se obține:

$$m = \frac{60}{100} \frac{12{,}8 \cdot 133\ \text{Nm}^{-2} \cdot 18\ \text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot 120\ \text{m}^3}{8314\ \text{J} \cdot \text{kmol}^{-1}\ \text{K}^{-1} \cdot 288\ \text{K}} \approx 0{,}922\ \text{kg}$$

b) Prin creșterea temperaturii, masa vaporilor din cameră nu se schimbă, însă p_{max} este presiunea corespunzătoare temperaturii vaporilor saturanți la 20°C, cu valoarea 17,5 torr.

$$B_1 = 100 \frac{p}{p_{max_1}} \qquad (3)$$

Din relațiile (1) și (3) avem:

$$B_1 = B \frac{p_{max}}{p_{max_1}} = 60 \frac{12{,}8\ \text{torr}}{17{,}5\ \text{torr}} \approx 43{,}88\%$$

c) Punctul de rouă corespunde presiunii p, obținută din relația (1), când vaporii devin saturanți.

Din tabele, presiunea $p = B\ p_{max}/100 = 7{,}68$ torr corespunde temperaturii $t \approx 7°C$.

8.4. Într-o sticlă cu volumul V = 1 l la temperatura t = 20°C se introduce alcool cu masa m = 4 g și se închide sticla imediat.

Cum presiunea vaporilor saturanți la această temperatură este $p_v = 44{,}5$ torr și presiunea atmosferică este $p_a = 750$ torr, să se calculeze:

a) presiunea care se stabilește în sticlă;

b) variația energiei interne a masei de alcool ce se vaporizează la presiune normală, dacă are căldura latentă specifică $\lambda = 8{,}62 \cdot 10^5$ J/kg și volumul specific al vaporilor este $v = 607\ \text{cm}^3/\text{g}$. ($C_2H_5–O–C_2H_5$)

Rezolvare. Presiunea în sticlă după realizarea echilibrului termic cu exteriorul, conform legii Dalton, va fi suma presiunilor parțiale ale aerului și vaporilor de alcool. Trebuie stabilit dacă vaporii sunt saturanți sau nu. Pentru presiunea dată se calculează masa de alcool necesară.

$$p_{v_s} V = \frac{m_s}{\mu} RT \Rightarrow m_s = \frac{\mu\, p_{v_s} V}{RT} = \frac{74\ \text{kg kmol}^{-1} \cdot 44{,}5 \cdot 133\ \text{Nm}^{-2} \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3}{8314\ \text{J kmol}^{-1}\ \text{K}^{-1} \cdot 293\ \text{K}} \approx$$

$\approx 0{,}179$ g

Cum masa de vapori saturanți $m_s = 0{,}179\ \text{g} < 4\ \text{g}$, rezultă că vaporii de alcool din sticlă sunt saturanți și presiunea este:

$$p = p_{aer} + p_{vs} = 750\ \text{torr} + 44{,}5\ \text{torr} = 794{,}5\ \text{torr}$$

b) Variația energiei interne se calculează folosind primul principiu al termodinamicii.

$\Delta U = Q - L$, unde $\Delta U = m\lambda_v - p\Delta V$

Neglijând volumul alcoolului lichid, avem:

$$\Delta U = m\lambda_v - pmv = m(\lambda_v - pv)$$

Numeric, se obține:

$$\Delta U = 4\cdot 10^{-3}\ \text{kg}\left(8{,}62\cdot 10^5\ \frac{\text{J}}{\text{kg}} - 10^5\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\cdot 607\ \frac{10^{-6}\ \text{m}^3}{10^{-3}\ \text{kg}}\right) = 3252\ \text{J}$$

8.5. Un tub de sticlă cu un capăt închis, cu lungimea $L = 0{,}6$ m și aria secțiunii transversale $S = 0{,}5\ \text{cm}^2$, este introdus vertical în apă, cu capătul deschis, până la adâncimea $h = 0{,}5$ m. Care este volumul de apă ce pătrunde în tub, dacă atmosfera este uscată și are presiunea $H = 10^5$ Pa, temperatura este constantă, presiunea vaporilor saturanți ai apei este $p_v = 10^3$ Pa și se neglijează fenomenul de capilaritate? ($g = 10\ \text{m/s}^2$)

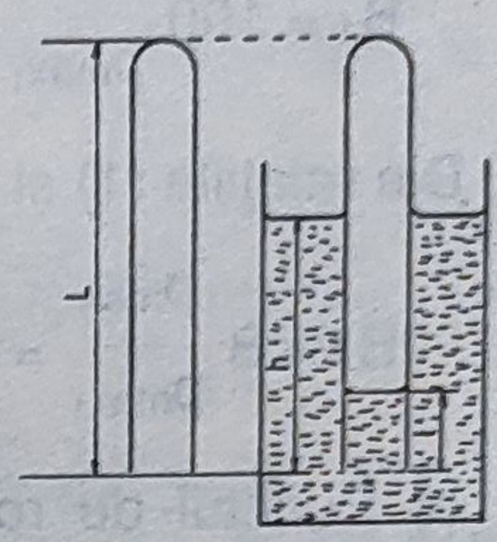


Fig. 67.

Rezolvare. Din figura 67, prin aplicarea legii Boyle-Mariotte, avem:

$$SLH = S(L-l)p_{aer} \qquad (1)$$

Condiția de echilibru a presiunilor la nivelul lichidului din tub este:

$$H + \rho g(h-l) = p_{aer} + p_v \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se elimină p_{aer} și se obține:

$$\rho g l^2 - (H + \rho g h + \rho g L - p_v) l + \rho gh L - p_v L = 0$$

Introducând valorile numerice, se obține ecuația de gradul 2 în l:

$$l^2 - 11l + 0{,}24 = 0$$

Prin rezolvare, se obține:

$$l = 2{,}2\ \text{cm};$$

$$V = Sl = 1{,}1\ \text{cm}^3$$

8.6. Să se determine punctul de aburire, dacă temperatura aerului este 20°C și umiditatea relativă este 49% ($p_{20} = 17{,}5$ mm Hg).

8.7. Umiditatea relativă a aerului este 40% și temperatura este de 29°C. Să se calculeze cantitatea de vapori ce trebuie să treacă printr-un metru cub din acest aer pentru a se satura.

8.8. O sală de clasă are lungimea de 15 m, lățimea de 6 m și înălțimea de 4 m. Aerul din ea are temperatura de 21°C, iar punctul de aburire este 12°C. Se lasă aici un vas deschis, care cuprinde 2 kg apă. Se va satura aerul dacă toată

apa se evaporă, admițând că sala este perfect închisă? Dacă nu, ce cantitate de apă mai este necesară?

8.9. Presiunea atmosferică într-o cameră este de 765 torr la temperatura de 25°C. Să se calculeze cât devine presiunea în cameră când umiditatea aerului scade de la 65% la 30%, dacă toate celelalte condiții nu se schimbă (p_{S25^o}= = 23,8 mm Hg).

8.10. O sală de spectacole are dimensiunile: 25 x 10 x 6 m^3. La terminarea spectacolului, temperatura este de 20°C și umiditatea relativă de 78,61%. Noaptea, temperatura scade la 8°C. Ce cantitate de vapori de apă s-a condensat?

8.11. Temperatura aerului este seara de 16°C, iar umiditatea relativă de 65%. În timpul nopții, temperatura scade la 4°C. Va cădea oare rouă? În caz afirmativ, să se calculeze cantitatea de vapori de apă care se condensează din fiecare metru cub de aer.

8.12. Presiunea atmosferică la temperatura de 25°C este 766 mm Hg, iar umiditatea relativă este 70%. Dacă temperatura scade la –10°C și umiditatea relativă ajunge la 80%, celelalte condiții neschimbându-se, să se calculeze cât devine presiunea atmosferică.

8.13. Doi litri de aer semisaturați cu vapori de apă cu temperatura de 30°C și presiunea de 76 cm Hg sunt supuși, fără schimbarea temperaturii, la o presiune de 304 cm Hg. Să se calculeze volumul aerului în acest caz. (p_{30} = 30,5 mm Hg)

8.14. Se introduce alcool în camera barometrică a unui tub Torricelli. Diferența nivelurilor mercurului în tub și în chiuvetă este de 74,5 cm și înălțimea coloanei de alcool rămas lichid este de 4 cm. Știind că înălțimea coloanei barometrice este de 76 cm Hg, densitatea alcoolului 0,8 și densitatea mercurului 13,6, să se calculeze presiunea maximă a vaporilor de alcool la temperatura la care are loc experiența.

8.15. Un metru cub aer cu temperatura de 10°C cuprinde 4,1 g de vapori de apă. Să se calculeze starea higrometrică a acestui aer știind că tensiunea maximă a vaporilor de apă la temperatura de 10°C este p = 9,2 mm Hg

$$\left(s = \frac{m_{vapori\ din\ aer}}{M_{masa\ \ maximă\ \ vap.}} \right).$$

8.16. S-a stabilit, cu ajutorul unui higrometru chimic, că fiecare litru de aer din atmosferă cuprinde 2 cg de apă. Temperatura fiind de 27,3°C și înălțimea barometrică 750 mm Hg, se cer: a) starea higrometrică a aerului (densitatea vaporilor de apă în raport cu aerul este 5/8 = 0,625, presiunea vaporilor de apă la temperatura de 27,3°C este de 26 mm Hg); b) când temperatura ambiantă scade la 12°C și, în același timp, presiunea barometrică urcă la 760 mm Hg, să se calculeze cantitatea de apă care se depune pentru fiecare litru de aer în noua stare. Presiunea de saturare a vaporilor de apă la 12°C este de 10 mm Hg.

8.17. O coardă fixată la ambele capete are lungimea de 60 cm. Pusă în oscilație prin ciupire, emite sunete proprii la care armonica a treia are frecvența de 100 Hz. Să se calculeze: a) lungimea de undă a primei armonice și viteza de propagare a oscilațiilor în coardă; b) timpul în care sunetul corespunzător acestor oscilații va ajunge, la un observator așezat la distanța de 100 m, prin aer cu umiditatea relativă de 70% și cu temperatura de 27,3°C. Se consideră presiunea atmosferică H = 760 torr, viteza sunetului în aerul uscat, la 0°C, de 330 m/s și presiunea vaporilor saturanți de 26,8 torr; c) lungimea de undă a sunetului în aer.

8.18. Un cilindru cu piston, de volum V, conține vapori de apă la temperatura t = 100°C și presiunea p = 540 torr. Să se calculeze:

a) presiunea vaporilor în cilindru, dacă volumul se micșorează izoterm de n = 1,2 ori;

b) de câte ori trebuie micșorat volumul, ca vaporii să devină saturanți;

c) care este starea sistemului - vapori, apă - dacă micșorarea izotermă a volumului se face de n = 2 ori.

8.19. Într-o incintă perfect închisă, cu volumul V = 0,5 m^3, se găsește aer la temperatura t_1 = 100°C și având umiditatea relativă 3%. Prin răcire, temperatura ajunge la t_2 = 23°C. Să se calculeze cât a devenit umiditatea relativă prin răcire și care este umiditatea absolută.

8.20. Printr-o conductă trec gaze saturate cu vapori de apă, într-o cantitate V = 10^6 m^3/h. Presiunea în conductă este p_1 = 2 at, iar temperatura este t_1 = = 60°C.

Ce cantitate de apă se condensează zilnic, dacă temperatura gazelor în conductă scade la t_2 = 35°C ? Cât a devenit presiunea în conductă prin scăderea temperaturii la 35°C?

8.21. Într-un cilindru vertical cu pereții laterali termoizolanți, cu fund termoconductor și cu piston mobil de masă M = 10 kg se găsește apă în echilibru cu vaporii săi. Încălzitorul are o putere P = 2 kW și randamentul η = = 80%, iar pistonul urcă uniform cu viteza v = 3,84 mm/min. Suprafața pistonului este S = 200 cm^2, presiunea atmosferică p = 10^5 Pa și căldura latentă specifică de vaporizare $\lambda = 2{,}2 \cdot 10^6$ J/kg. Să se calculeze:

a) temperatura de echilibru apă - vapori;

b) viteza de variație a energiei interne a vaporilor. (g = 10 m/s^2)

8.22. Într-o cameră închisă ermetic, cu volumul V = 40 m^3, ce conține aer uscat la presiunea p = 10^5 Pa și cu temperatura t_1 = 34°C, se introduce o bucată de gheață cu temperatura t_0 = 0°C. Schimbul de căldură cu exteriorul se neglijează și temperatura de echilibru devine t_2 = 7°C, aerul fiind saturat cu vapori de apă și apa total vaporizată.

Să se calculeze:

a) căldura latentă specifică de vaporizare a apei în acest proces;

b) presiunea finală în cameră.

($\rho_{0_{aer}}$ = 1,3 kg/m^3, μ_{aer} = 29 kg/kmol, $c_{apă}$ = 4180 J/kgK)

Testul I

1. O eprubetă de lungime *l* este cufundată în întregime, vertical, în apă la temperatura mediului ambiant, presiunea atmosferică fiind p_0. Înălțimea coloanei de apă ce a pătruns în eprubetă este:

a) $\dfrac{2\rho gl - p_0 - \sqrt{(4\rho gl + p_0)p_0}}{2\rho g}$;

b) $\dfrac{2\rho gl + p_0 - \sqrt{(4\rho gl + p_0)p_0}}{2\rho g}$;

c) $\dfrac{\rho gl + 2p_0 - \sqrt{(4\rho gl + p_0)p_0}}{2\rho g}$;

d) $\dfrac{2\rho gl + p_0 + \sqrt{(4\rho gl + p_0)p_0}}{2\rho g}$.

2. Un balon cu volumul *V* este atașat la o pompă de vid cu volumul unei curse *v*. Dacă presiunea în balon este p_0, cât a devenit presiunea după două curse.

a) $p = p_0 \dfrac{V+v}{V-v}$; b) $p = p_0 \left(\dfrac{V-v}{V+v}\right)^2$; c) $p = p_0 \dfrac{V^2}{(V-v)^2}$; d) $p = p_0 \left(\dfrac{V}{V+v}\right)^2$.

3. În figura 68 se dă graficul transformării unei mase de gaz în diagrama VT. Cum a variat presiunea gazului în această transformare?

a) crește; b) nu variază; c) scade; d) nu depinde de presiune.

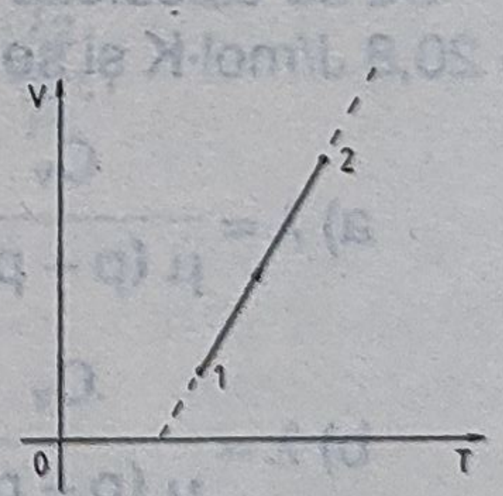


Fig. 68.

4. O masă de gaz biatomic, cu temperatura T_1, absoarbe căldură într-un proces izocor și o cedează în continuare într-un proces izobar. Temperatura $T_2 = 2T_1$ și temperatura T_3 este:

a) $T_1/2$; b) T_1; c) $3/5 \cdot T_1$; d) $9/7 \cdot T_1$.

5. O masă de gaz ideal cu temperatura T se comprimă izoterm până la micșorarea volumului de K ori și apoi revine la volumul inițial prin destindere

izobară. Căldura schimbată de gaz cu exteriorul în acest proces este:

a) $\nu RT\left[\frac{5}{2}(K+1)-\ln K\right]$; b) $\nu RT\left[\frac{5}{2}(K-1)-\ln K\right]$;

c) $\nu RT\left[\frac{2}{5}(K-1)-\ln K\right]$; d) $\nu RT\left[\ln K-\frac{5}{2}(K-1)\right]$.

6. Un gaz ideal își modifică energia internă cu ΔU și viteza termică variază de la v_{T1} la v_{T2}. Masa molară a gazului este:

a) $\frac{2\nu\Delta U}{v^2_{T_2}-v^2_{T_1}}$; b) $\frac{2\Delta U}{\nu(v^2_{T_2}-v^2_{T_1})}$; c) $\frac{\nu(v^2_{T_2}-v^2_{T_1})}{2\Delta U}$; d) $\frac{\Delta U}{2\nu(v^2_{T_2}-v^2_{T_1})}$.

7. Două baloane, cu volumele V_1 și V_2, comunică între ele printr-un tub cu robinet, de dimensiuni neglijabile. Cu robinetul închis, gazele biatomice din baloane au presiunile p_1 și p_2 și temperaturile T_1 și T_2; prin deschiderea robinetului, presiunea devine:

a) $(p_1\nu_1+p_2\nu_2)\frac{p_1T_2+p_2T_1}{p_1\nu_1T_2+p_2\nu_2T_1}$; b) $\frac{p_1\nu_1T_2+p_2\nu_2T_1}{(p_1\nu_1+p_2\nu_2)(p_1T_2+p_2T_1)}$;

c) $(p_1\nu_1-p_2\nu_2)\frac{p_1\nu_1T_2+p_2\nu_2T_1}{p_1T_2+p_2T_1}$.

8. Într-un vas închis s-a aflat azot gazos la temperatura $t = 20°C$ și presiunea $p_0 = 10^5$ Pa. În vas s-a introdus apoi azot lichid la temperatura $t_1 = -196°C$ (punctul de fierbere al azotului lichid). După vaporizarea rapidă a azotului lichid, temperatura în vas a devenit $\theta = -140°C$. Prin încălzirea vasului la temperatura $t = 20°C$, presiunea a devenit $p = 1{,}5\cdot10^5$ Pa.

Să se calculeze căldura latentă specifică de vaporizare a azotului, dacă $C_v = 20{,}8$ J/mol·K și se neglijează capacitatea calorică a vasului.

a) $\lambda=\frac{C_v}{\mu(p-p_o)}[p_o(T-\theta)+(p-p_o)(\theta-T_1)]$;

b) $\lambda=\frac{C_v}{\mu(p-p_o)}[p_o(T-\theta)-(p-p_o)(\theta-T_1)]$;

c) $\lambda=\frac{\mu C_v}{(p-p_o)}[p_o(T-\theta)-(p_o-p)(\theta-T_1)]$;

d) $\lambda=\frac{C_v}{\mu(p-p_o)}[p(T-\theta)-(p_o-p)(\theta-T_1)]$.

9. O eprubetă de lungime l conține aer saturat cu vapori de apă. Inițial, ea abia atinge suprafața apei dintr-un vas. Se introduce eprubeta vertical în apă până la jumătate din lungimea ei (fig. 69).

Cunoscând presiunea atmosferică p și densitatea apei ρ, presiunea vaporilor de apă saturanți este:

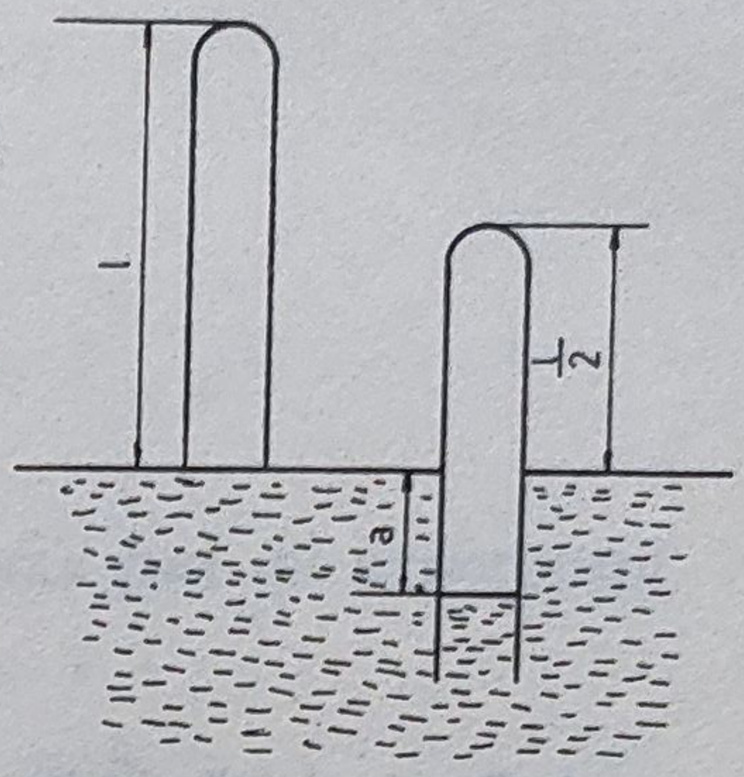


Fig. 69.

a) $p_s = p + \rho\, ga\,\dfrac{1+2a}{1-2a}$; b) $p_s = p - \rho\, ga\,\dfrac{1-2a}{1+2a}$;

c) $p_s = p - \rho\, ga\,\dfrac{1+2a}{1-2a}$; d) $p_s = p - \dfrac{\rho\, ga}{2}$.

10. Un motor termic cu substanța de lucru un gaz perfect, funcționează după un ciclu care suferă următoarele transformări: 1–2 comprimare adiabatică, 2–3 destindere izobară, 3–4 destindere adiabatică până la presiunea inițială și 4–1 răcire izobară până la volumul inițial. Dacă $T_1 = 3/4\ T_2 = 1/2T_3$ și exponentul adiabatic γ, randamentul motorului este:

a) $\eta = 1 + \dfrac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$; b) $\eta = 1 - \dfrac{T_4 + T_1}{T_3 - T_2}$;

c) $\eta = 1 - \dfrac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$; d) $\eta = 1 - \dfrac{T_3 - T_2}{T_4 - T_1}$.

11. Variația entropiei unei bucăți de aluminiu cu volumul *V*, de la temperatura t_1 la temperatura t_2, este:

a) $\Delta S = \dfrac{V}{1 + 3\,\alpha t_1}\,\rho_\sigma \cdot c \cdot \ln\dfrac{t_2}{t_1}$; b) $\Delta S = \dfrac{V}{1 + 3\,\alpha t_1}\,\rho_\sigma \cdot c \cdot \ln\dfrac{T_1}{T_2}$;

c) $\Delta S = \dfrac{V}{1 + 3\,\alpha t_1}\,\rho_\sigma c \cdot \ln\dfrac{T_2}{T_1}$; d) $\Delta S = \dfrac{V}{1 - 3\,\alpha t_2}\,\rho_\sigma \cdot c \cdot \ln\dfrac{T_2}{T_1}$.

Testul II

1. O eprubetă de lungime *l* este încălzită în aer la temperatura *T* și apoi cu capătul deschis atinge suprafața apei.

La ce temperatură va urca apa în eprubeta verticală pe jumătate din lungimea sa, l? Se neglijează dilatarea eprubetei.

a) $T\dfrac{p_0 - \rho\, gl}{4\, p_0}$; b) $T\dfrac{\rho\, gl - p_0}{p_0}$; c) $T\dfrac{2\, p_0 - \rho\, gl}{4\, p_0}$; d) $T\dfrac{2\, p_0 - \rho\, gl}{p_0}$.

2. Două gaze, cu masele molare μ_1 și μ_2, formează un amestec cu masa molară medie μ. Unul din componente are masa m_1. Cel de al doilea component are masa:

a) $m_2 = m_1\dfrac{\mu - \mu_1\mu_2}{\mu_1 - \mu\mu_2}$; b) $m_2 = m_1\dfrac{\mu + \mu_1\mu_2}{\mu - \mu_1\mu_2}$;

c) $m_2 = m_1\dfrac{\mu_1 - \mu\mu_2}{\mu_2 - \mu\mu_1}$; d) $m_2 = m_1\dfrac{\mu - \mu_1\mu_2}{\mu_2 - \mu\mu_1}$.

3. O masă *m* de amoniac (NH_3) prin încălzire izobară absoarbe căldura *Q*. Variația energiei cinetice medii a unei molecule este:

a) $\dfrac{3}{4}\cdot\dfrac{Q\mu}{m\, N_A}$; b) $\dfrac{4}{3}\cdot\dfrac{Q\, m}{\mu\, N_A}$; c) $\dfrac{3}{4}\cdot\dfrac{m\, N_A}{Q\mu}$; d) $\dfrac{1}{4}\cdot\dfrac{Q\, N_A}{m\mu}$.

4. Un gaz cu căldura molară la volum constant $C_v = 5/2$ R, volumul *V* și presiunea *p* este comprimat adiabatic până la micșorarea volumului de *n* ori. Lucrul mecanic de comprimare este:

a) $p\, V\dfrac{1 - n^{0,4}}{0,4}$; b) $p\, V\dfrac{n^{0,4} - 1}{0,4}$; c) $p\, V\dfrac{0,4}{n^{0,4} + 1}$; d) $p\, V\dfrac{n^{0,4} + 1}{0,4}$.

5. Lucrul mecanic efectuat într-un ciclu de un motor Carnot, cu ν moli de vapori de apă, cu temperatura sursei calde T_1, cu lucrul mecanic în destinderea adiabatică L_{ad} și căldura cedată sursei reci Q_2, are valoarea:

a) $L=\dfrac{L_{ad}\cdot Q_2}{3\nu RT_1+L_{ad}}$; b) $L=\dfrac{L_{ad}\cdot 3\nu RT_1}{Q_2+L_{ad}}$;

c) $L=\dfrac{L_{ad}\cdot Q_2}{3\nu RT_1-L_{ad}}$; d) $L=\dfrac{L_{ad}\cdot Q_2}{L_{ad}-3\nu RT_1}$.

6. Căldura specifică la presiune constantă, c_p, a unui gaz cu exponentul adiabatic γ și densitatea în condiții normale ρ_0 este:

a) $\dfrac{\gamma-1}{\gamma}\cdot\dfrac{p_0}{\rho_0 T_0}$; b) $\dfrac{\gamma-1}{\gamma}\cdot\dfrac{\rho_0 T_0}{p_0}$; c) $\dfrac{\gamma}{\gamma-1}\cdot\dfrac{p_0}{\rho_0 T_0}$; d) $\dfrac{\gamma}{\gamma-1}\cdot\dfrac{p_0\rho_0}{T_0}$.

7. Două baloane ce comunică printr-un tub cu robinet închis conțin același gaz cu ν_1 moli și viteza termică v_{T1}, respectiv ν_2 moli și viteza termică v_{T2}. După deschiderea robinetului și realizarea echilibrului termic, viteza termică devine:

a) $\sqrt{\dfrac{\nu_1 v^2_{T_2}+\nu_2 v^2_{T_1}}{\nu_1+\nu_2}}$; b) $\sqrt{\dfrac{\nu_1 v^2_{T_1}+\nu_2 v^2_{T_2}}{\nu_1+\nu_2}}$;

c) $\dfrac{\nu_1 v_{T_1}+\nu_2 v_{T_2}}{\nu_1+\nu_2}$; d) $\dfrac{\nu_1 v_{T_2}+\nu_2 v_{T_1}}{\nu_1+\nu_2}$.

8. Se consideră două vase izolate termic de exterior. În primul se află $m_1 = 5$ kg apă la temperatura t_1, iar în al doilea, $m_2 = 1$ kg apă la temperatura $t_2 < t_1$. La început se toarnă din primul vas în al doilea o cantitate de apă. Apoi, după stabilirea echilibrului termic în al doilea vas, se toarnă din el în primul vas aceeași cantitate de apă ca în primul caz. În consecință, temperatura în vas devine t. Apa turnată dintr-un vas în altul și invers este:

a) $x=\dfrac{m_1 m_2 (t_1-t)}{m_2(t_1-t_2)+m_1(t_1-t)}$; b) $x=\dfrac{m_1 m_2 (t_1-t)}{m_2(t_1-t_2)-m_1(t_1-t)}$;

c) $x=\dfrac{m_1 m_2 (t-t_1)}{m_2(t_1-t_2)+m_1(t_1+t)}$.

9. O cantitate de gaz de ν kilomoli suferă transformarea ciclică din figura 70. Temperaturile în stările 1, 2 și 3 sunt T_1, T_2 și T_3, iar stările 2 și 4 se găsesc pe aceeași izotermă.

Lucrul mecanic efectuat de gaz într-un ciclu este:

a) $L=\nu R(T_2-T_1)\left(\dfrac{T_2}{T_1}-\dfrac{T_3}{T_2}-2\right)$; b) $L=\nu R(T_2-T_1)\left(\dfrac{T_2}{T_1}+\dfrac{T_3}{T_2}-2\right)$;

c) $L = \nu R(T_1 - T_2)\left(\frac{T_2}{T_1} + \frac{T_3}{T_2} - 2\right)$;

d) $L = \nu R(T_2 - T_1)\left(\frac{T_1}{T_2} + \frac{T_2}{T_3} - 2\right)$.

10. La distilarea apei se folosește un încălzitor cu gaz metan cu randamentul η, cu debitul Q_{v1} la presiunea p_1 și temperatura t_1, cu masa molară μ_1 și puterea calorică q_1 (J/kg).

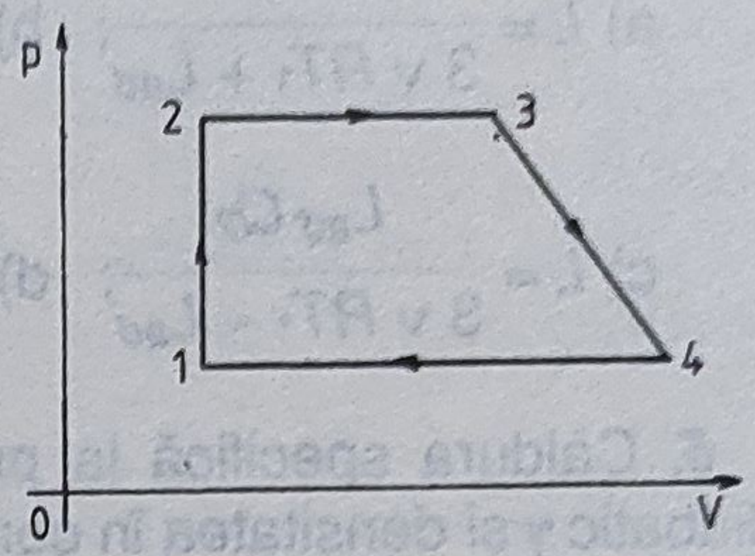


Fig. 70.

Vaporii de apă, cu masa molară μ_2, se obțin la presiunea normală și cu un debit volumic:

a) $Q_{v2} = \eta\, q\, Q_{v1} \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{p_1}{p_0^2} \cdot \frac{T_0 + 100}{T_0 + t_1} \cdot \frac{RT_0}{\lambda V_{\mu_0}}$; b) $Q_v = \eta\, q\, Q_{v1} \frac{\mu_2}{\mu_1} \cdot \frac{p_1}{p_0^2} \cdot \frac{T_0 + 100}{T_0 + t_1} \cdot \frac{RT_0}{\lambda V_{\mu_0}}$;

c) $Q_{v2} = \eta\, q\, Q_{v1} \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{p_0^2}{p_1} \cdot \frac{T_0 + 100}{T_0 + t_1} \cdot \frac{RT_0}{\lambda V_{\mu_0}}$; d) $Q_v = \eta\, q\, Q_{v1} \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{p_1}{p_0^2} \cdot \frac{T_0 + t_1}{T_0 + 100} \cdot \frac{RT_0}{\lambda V_{\mu_0}}$.

11. Două mase egale de apă, cu temperaturile T_1 și T_2, se amestecă, fiind izolate de mediul exterior. După realizarea echilibrului termic, variația entropiei este:

a) $\Delta S = m\, c \ln \frac{(T_1 - T_2)^2}{4T_1T_2}$; b) $\Delta S = m\, c \ln \frac{T_1 + T_2}{2T_1T_2}$;

c) $\Delta S = m\, c \ln \frac{2T_1}{T_2}$; d) $\Delta S = m\, c \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1T_2}$.

Testul III

1. Într-un vas cu volumul V = 12 l la temperatura obișnuită se găsește oxigen cu masa m = 16 g și presiunea p = $1{,}02 \cdot 10^5$ Pa. Viteza pătratică medie ce rezultă din datele problemei este:

a) $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3m}{pV}}$; b) $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3pm}{V}}$; c) $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}$; d) $\sqrt{v^2} = \frac{1}{m}\sqrt{3pV}$.

2. Hidrogenul cu masa m = 0,2 g la temperatura t = 17°C se găsește într-un cilindru cu piston. Gazul se destinde izoterm de la volumul V_1 la volumul $V_2 = eV_1$, unde e este baza logaritmilor naturali. Variația energiei interne și a entropiei este:

a) $\Delta S = \frac{\mu R}{m}$; b) $\Delta S = \frac{mR}{\mu}$; c) $\Delta S = \frac{m\mu}{R}$; d) $\Delta S = \frac{m}{\mu R}$.

3. Avem două corpuri de volume egale și de naturi diferite. Ele au capacități calorice egale în cazul:

a) $\rho_1 c_2 = \rho_2 c_1$; b) $\rho_1 c_1 = \rho_2 c_2$; c) $c_1\sqrt{\rho_1} = c_2\sqrt{\rho_2}$; d) $\rho_1\sqrt{c_1} = \rho_2\sqrt{c_2}$.

4. Într-un calorimetru cu capacitatea calorică C_1 = 200 J/grd, ce conține apă cu masa m_2 = 0,8 kg la temperatura t_2 = 24°C, se introduce o bilă de fier cu masa m_3 = 0,5 kg și temperatura t_3 = 40°C și apoi o bucată de cupru cu volumul egal cu al bilei de fier și cu temperatura t_4 = 8°C. Temperatura amestecului după realizarea echilibrului termic este:

a) $\theta = \frac{C_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 + m_3 c_3 t_3 - m_4 c_4 t_4}{C_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 - m_4 c_4}$; b) $\theta = \frac{C_1 t_2 + m_2 c_2 t_2 + m_3 c_3 t_3 + m_4 c_4 t_4}{C_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 + m_4 c_4}$;

c) $\theta = \frac{C_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 - m_3 c_3 t_3 - m_4 c_4 t_4}{C_1 + m_1 c_1 + m_2 c_2 - m_3 c_3}$; d) $\theta = \frac{C_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 - m_3 c_3 t_3 + m_4 c_4 t_4}{C_1 - m_2 c_2 + m_3 c_3 + m_4 c_4}$.

5. O bară de oțel, cu lungimea l_1 și aria secțiunii transversale S_1, prin încălzire își ridică temperatura de la t_1 la t_2, alungindu-se. Forța care ar trebui să lucreze axial pentru a produce același efect este:

a) $F = \frac{E\,\alpha\,(t_1 + t_2)}{S_1 \cdot (1 + \alpha\, t_1)}$; b) $F = ES_1 \cdot \frac{1 + \alpha\, t_1}{t_2 - t_1}$;

c) $F = ES_1 \cdot \frac{\alpha\,(t_2 - t_1)}{1 + \alpha\, t_2}$; d) $F = ES_1 \cdot \frac{\alpha\,(t_2 - t_1)}{1 + \alpha\, t_1}$.

6. Alcoolul cu volumul $V_1 = 10$ l la temperatura $t_1 = 10^oC$ are masa $m_1 = 7{,}9$ kg. Masa m_2 a celor 10 l de alcool la temperatura $t_2 = 60^oC$ cu $\gamma = 0{,}0011\ grd^{-1}$ este:

a) $m_2 = m_1 \dfrac{1+\gamma t_2}{1+\gamma t_1}$; b) $m_2 = m_1 \dfrac{1-\gamma t_2}{1-\gamma t_1}$;

c) $m_2 = m_1 \dfrac{1+\gamma t_1}{1+\gamma t_2}$; d) $m_2 = m_1 \dfrac{1-\gamma t_1}{1+\gamma t_2}$.

7. Într-un bloc de gheață, la temperatura $t_0 = 0^oC$ și presiunea normală, se face o scobitură în care se toarnă plumb topit.

Masa de gheață topită este $\Delta m = 51$ g, căldura specifică a plumbului în stare solidă și lichidă este $c = 0{,}03$ cal/g·grd și căldurile latente specifice de topire pentru gheață $\lambda'_t = 80$ cal/g și pentru plumb $\lambda''_t = 5$ kcal/kg. Masa plumbului topit, cu temperatura $t = 370^oC$, este:

a) $m = \dfrac{\lambda'' \Delta m}{\lambda' + ct}$; b) $m = \dfrac{\lambda' + ct}{\lambda'' \Delta m}$; c) $m = \dfrac{\lambda' \Delta m}{\lambda'' + ct}$; d) $m = \dfrac{\lambda'' - ct}{\lambda' \Delta m}$.

8. Într-un amestec format din apă cu masa $m_1 = 2$ kg și gheață cu masa $m_2 = 1$ kg, la temperatura de 0^oC, se toarnă plumb topit la temperatura de topire $t_t = 327^oC$. Temperatura finală este $\theta = 100^oC$ și se vaporizează $m_3 = 20$ g apă. Masa de plumb topit, m_4, este:

a) $m_4 = \dfrac{m_2 \lambda_g + (m_1 + m_2) c_a - m_3 \lambda_v}{\lambda_{pb} + c_{pb}(t_t - \theta)}$;

b) $m_4 = \dfrac{m_2 \lambda_g + (m_1 + m_2) c_a + m_3 \lambda_v}{\lambda_{pb} + c(t_t - \theta)}$;

c) $m_4 = \dfrac{m_2 \lambda_g + (m_1 - m_2) c_a + m_3 \lambda_v}{\lambda_{pb} + c(t_t - \theta)}$.

9. Un cilindru din oțel cu volumul $V = 10$ l conține hidrogen la presiunea $p_1 = 200$ at și temperatura 7^oC. El este folosit la alimentarea unui încălzitor ce consumă $\Delta m = 10$ g/h.

Dacă arderea se face până la presiunea $p_2 = 0{,}5$ at și temperatura de 17^oC, timpul de folosire a buteliei pentru încălzire este:

a) $\tau = \dfrac{R \Delta m}{\mu V}\left(\dfrac{p_1}{T_1} - \dfrac{p_2}{T_2}\right)$; b) $\tau = \dfrac{\mu V}{R \Delta m}\left(\dfrac{T_1}{p_1} - \dfrac{T_2}{p_2}\right)$;

c) $\tau = \dfrac{\mu V}{R \Delta m}\left(\dfrac{p_2}{T_2} - \dfrac{p_1}{T_1}\right)$; d) $\tau = \dfrac{\mu V}{R \Delta m}\left(\dfrac{p_1}{T_1} - \dfrac{p_2}{T_2}\right)$.

10. Un gaz ideal, cu exponentul adiabatic $\gamma = 1{,}4$, suferă transformarea ciclică din figura 71. Dacă, în starea 1, $V_1 = 4$ l și $p_1 = 500$ kPa, iar în starea 2, $V_2 = 10{,}87$ l, randamentul motorului ce funcționează după acest ciclu este:

a) $\eta = 1 - \dfrac{\gamma\left(1 - \dfrac{V_1}{V_2}\right)}{1 - \dfrac{V_1}{V_2} + (\gamma - 1)\ln\dfrac{V_2}{V_1}}$;

b) $\eta = 1 - \dfrac{\gamma\left(1 + \dfrac{V_1}{V_2}\right)}{1 - \dfrac{V_1}{V_2} + (\gamma - 1)\ln\dfrac{V_2}{V_1}}$;

c) $\eta = 1 - \dfrac{\gamma\left(1 - \dfrac{V_1}{V_2}\right)}{1 + \dfrac{V_1}{V_2} + (\gamma - 1)\ln\dfrac{V_2}{V_1}}$.

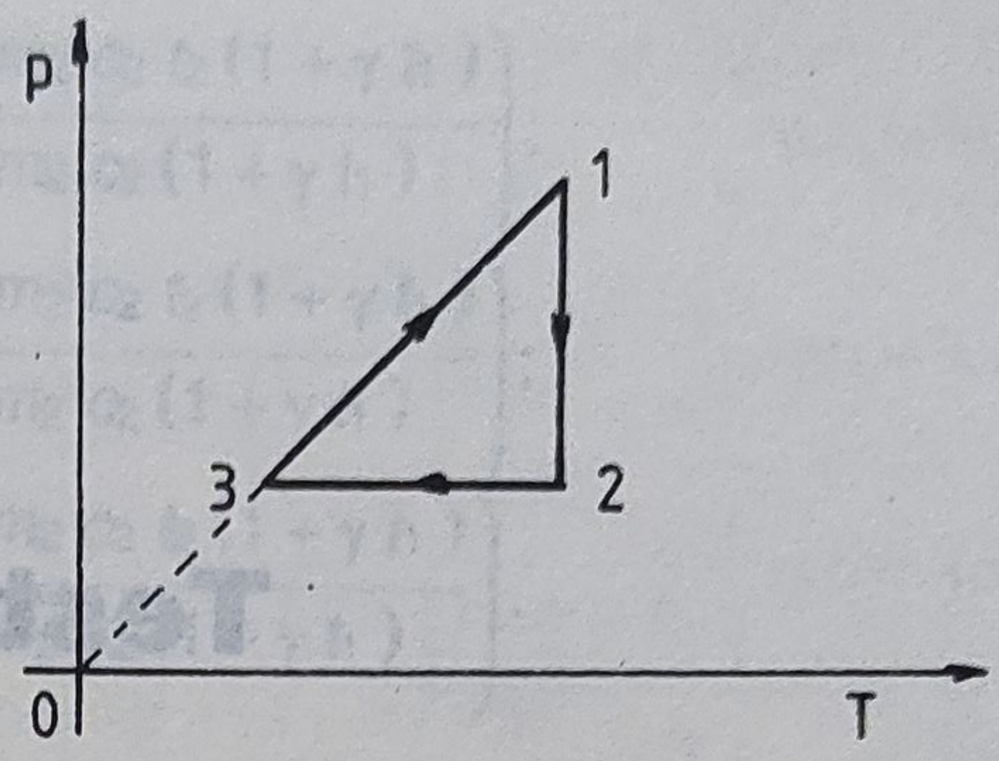


Fig. 71.

11. Un densimetru cilindric de masă m, cu diametrul d_0, la temperatura de 0°C, plutește pe apă. Dacă temperatura crește la valoarea t și coeficientul de tensiune superficială variază după legea $\sigma = 75 - 0{,}15\ t$, coeficientul de dilatare liniară al sticlei este α și coeficientul de dilatare al apei este γ, adâncimea de scufundare este:

a) $h = \dfrac{4\,[mg - \pi\, d_o(1 + \alpha\, t)(75 - 0{,}15\, t)\,](1 + \gamma\, t)}{\pi\, d_o^2 \rho_o\, g(1 + 2\alpha\, t)}$;

b) $h = \dfrac{4\,[mg + \pi\, d_o(1 + \alpha\, t)(75 - 0{,}15\, t)\,](1 + \gamma\, t)}{\pi\, d_o^2 \rho_o\, g(1 + 2\alpha\, t)}$;

c) $h = \dfrac{4\,[mg - \pi\, d_o(1 + \alpha\, t)(75 - 0{,}15\, t)\,](1 + \gamma\, t)}{\pi\, d_o^2 \rho_o\, g(1 - 2\alpha\, t)}$;

d) $h = \dfrac{4\,[\pi\, d_o(1 + \alpha\, t)(75 - 0{,}15\, t) - mg\,](1 + \gamma\, t)}{\pi\, d_o^2 \rho_o\, g(1 + 2\alpha\, t)}$.

Testul IV

1. Două vase separate printr-un perete despărțitor conțin, ambele, aer la temperatura camerei și la presiunea atmosferică. Volumul unui vas este V și al celuilalt $2V$. La îndepărtarea peretelui, dacă masele de gaze sunt diferite, variația de entropie ΔS este:

a) $\Delta S = \nu R(2\ln 3 + 3\ln 2)$; b) $\Delta S = \nu R(2\ln 3 - 3\ln 2)$; c) $\Delta S = \nu R(3\ln 3 - 2\ln 2)$;

d) $\Delta S = \dfrac{\nu R}{3\ln 3 - 2\ln 2}$.

2. O cantitate de gaz perfect, monoatomic, $\nu = 2$ moli, suferă o transformare ciclică, în care transformarea 1–2 are loc la presiunea p_1, între temperaturile $T_1 = 400$ K și $T_2 = 600$ K, urmată de o transformare adiabatică, 2–3, una izobară, 3–4 la presiunea $p_2 = p_1/K$, și se închide cu o transformare tot adiabatică. Dacă $C_v = 3/2 \cdot R$ și $K = 32$, temperatura minimă atinsă de gaz în ciclul de transformări este:

a) $T_4 = T_1\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$; b) $T_4 = T_1\left(\dfrac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$; c) $T_4 = T_1\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$; d) $T_4 = T_1\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\gamma-1}$.

3. O bucată de gheață cu masa $m = 500$ g și cu temperatura $t_1 = -5°C$, prin răcire, cedează căldura $|Q| = 4180$ J. Temperatura t_2 atinsă de gheață este:

a) $t_2 = \dfrac{Q - m\,c\,t_1}{m\,c}$; b) $t_2 = \dfrac{Q + m\,c\,t_1}{m\,c}$; c) $t_2 = \dfrac{-Q + m\,c\,t_1}{m\,c}$.

4. O bară de plumb are, la temperatura $t_1 = 10°C$, lungimea $l_1 = 60{,}34$ cm, iar la temperatura $t_2 = 100°C$, lungimea $l_2 = 60{,}50$ cm.

Coeficientul de dilatare termică al plumbului este:

a) $\alpha = \dfrac{l_1 - l_2}{l_1\,t_2 - l_2\,t_1}$; b) $\alpha = \dfrac{l_2 - l_1}{l_2\,t_1 - l_1\,t_2}$; c) $\alpha = \dfrac{l_2 - l_1}{l_1\,t_2 - l_2\,t_1}$; d) $\alpha = \dfrac{l_1 + l_2}{l_1\,t_2 + l_2\,t_1}$.

5. O bară de fier are, la temperatura $t_1 = 500°C$, lungimea $l_1 = 60$ cm și aria secțiunii transversale $S_1 = 6\ cm^2$. Se introduce bara în apă cu masa $m_2 = 5$ kg și temperatura $t_2 = 20°C$, neglijându-se pierderile de căldură. Volumul barei după atingerea echilibrului termic este:

a) $V_2 = \dfrac{S_1 l_1}{1+\gamma t_1}\left(1+\gamma\dfrac{S_1 l_1 c_1 \rho_o t_1 + m_2 c_2 t_2(1+\gamma t_1)}{S_1 l_1 c_1 \rho_o + m_2 c_2(1+\gamma t_1)}\right)$;

b) $V_2 = \dfrac{S_1 l_1}{1+\gamma t_1}\left(1+\gamma\dfrac{S_1 l_1 c_1 \rho_o t_1 - m_2 c_2 t_2(1+\gamma t_1)}{S_1 l_1 c_1 \rho_o + m_2 c_2(1+\gamma t_1)}\right)$;

c) $V_2 = \dfrac{S_1 l_1}{1+\gamma t_2}\left(1+\gamma\dfrac{S_1 l_1 c_1 \rho_o t_1 + m_2 c_2 t_2(1+\gamma t_1)}{S_1 l_1 c_1 \rho_o - m_2 c_2(1+\gamma t_1)}\right)$.

6. Într-un amestec de gheață cu masa $m_1 = 5$ kg și de apă cu masa $m_2 = 15$ kg în stare de echilibru termic, se introduc vapori de apă de la un generator de vapori. Temperatura finală a amestecului ajunge la $\theta = 80^oC$. Procesele au loc la presiunea normală și masa de vapori de apă introdusă în amestec este:

a) $m_3 = \dfrac{m_1\lambda_t + (m_1+m_2)c_a\theta}{\lambda_v + c_a(100^o-\theta)}$; b) $m_3 = \dfrac{m_1\lambda_t + (m_1-m_2)c_a\theta}{\lambda_v + c_a(100^o-\theta)}$;

c) $m_3 = \dfrac{m_1\lambda_t + (m_1+m_2)c_a\theta}{\lambda_v - c_a(100^o-\theta)}$.

7. Rarefiem aerul dintr-un tub cilindric închis la un capăt, cu lungimea $L = 80$ cm, și răsturnăm tubul cu capătul deschis într-un vas cu apă, acesta pătrunzând până la adâncimea $l = 5$ cm. Diferența de nivel a apei din tub față de nivelul apei din vas este $h = 70$ cm. Dacă presiunea atmosferică este normală, presiunea aerului rarefiat din tub, în torr, este:

a) $p = \dfrac{L-l+h}{L}(p_o - \rho g h)\dfrac{760}{101325}$; b) $p = \dfrac{L-l-h}{L}(p_o - \rho g h)\dfrac{760}{101325}$;

c) $p = \dfrac{L+l+h}{L}(p_o - \rho g h)\dfrac{760}{101325}$; d) $p = \dfrac{L-l-h}{L}(p_o + \rho g h)\dfrac{760}{101325}$.

8. Se amestecă într-un vas $N = 10^{25}$ molecule de heliu cu temperatura $t_1 = 80^oC$ cu $N_2 = 10^{25}$ molecule de oxigen cu temperatura $t_2 = 20^oC$.

Temperatura amestecului la realizarea echilibrului termic este:

a) $\theta = \dfrac{3N_1 t_1 + 5N_2 t_2}{3N_1 + 5N_2}$; b) $\theta = \dfrac{3N_1 t_2 + 5N_2 t_1}{3N_1 + 5N_2}$; c) $\theta = \dfrac{3N_2 t_1 + 5N_1 t_2}{3N_1 + 5N_2}$.

9. O sferă metalică are masa m, densitatea în condiții normale ρ_0, coeficientul de dilatare în lungime α, căldura specifică c și temperatura t. Sfera se introduce în alcool, care are masa m_1, căldura specifică c_1, temperatura t_1, coeficientul de dilatare în volum γ_1 și densitatea normală ρ_{01}. Valoarea forței arhimedice la temperatura de echilibru este:

a) $F = mg\dfrac{\rho_{o1}}{\rho_o}\cdot\dfrac{mc(1+3\alpha t)-m_1 c_1(1+3\alpha t_1)}{mc(1+\gamma t)-m_1 c_1(1+\gamma t_1)}$;

b) $F = mg\dfrac{\rho_{o1}}{\rho_o}\cdot\dfrac{mc(1+3\alpha t)+m_1 c_1(1+3\alpha t_1)}{mc(1+\gamma t)+m_1 c_1(1+\gamma t_1)}$;

c) $F = mg\dfrac{\rho_o}{\rho_{o1}}\cdot\dfrac{mc(1+3\alpha t)+m_1 c_1(1+3\alpha t_1)}{mc(1+\gamma t)+m_1 c_1(1+\gamma t_1)}$;

d) $F = mg\dfrac{\rho_{o1}}{\rho_o}\cdot\dfrac{mc(1+\gamma t)+m_1 c_1(1+\gamma t_1)}{mc(1+3\alpha t)+m_1 c_1(1+3\alpha t_1)}$.

10. Într-un cilindru cu piston cu volumul V = 83,1 l se află aer și vapori de apă saturanți, la temperatura t = 30°C. Presiunea vaporilor saturanți este p_s = = 31,5 torr și masa amestecului este m = 30,02 g. Dacă se comprimă amestecul până la V_1 = = V/n, presiunea finală a amestecului, cu μ_{aer} = 29 g/mol, R = = 8310 J/kmol·K și n = 4 este:

a) $p_{final} = \dfrac{m\,n\,RT}{\mu_{aer}V} + p_s\left(1-\dfrac{\mu_{apă}}{\mu_{aer}}\cdot n\right)$; b) $p_{final} = \dfrac{m\,n\,RT}{\mu_{aer}V} + p_s\left(\dfrac{\mu_{apă}}{\mu_{aer}}\cdot n-1\right)$;

c) $p_{final} = \dfrac{m\,RT}{n\mu_{aer}V} + p_s\left(\dfrac{\mu_{apă}}{\mu_{aer}}\cdot n-1\right)$; d) $p_{final} = \dfrac{m\,n\,RT}{\mu_{aer}V} - p_s\left(\dfrac{\mu_{apă}}{\mu_{aer}}\cdot n+1\right)$.

11. Se consideră un amestec format din ν_1 = 2 moli de oxigen și ν_2 = 3 moli de ozon. Dacă exponentul adiabatic pentru oxigen este γ_1 = 1,40 și pentru ozon γ_2 = 1,33 și la destinderea adiabatică variația de temperatură este ΔT = 100 K, lucrul mecanic în destinderea adiabatică este:

a) $L = \dfrac{(\nu_1+\nu_2)R\Delta T}{\dfrac{\nu_1\gamma_1(\gamma_2-1)+\nu_2\gamma_2(\gamma_1-1)}{\nu_1(\gamma_2-1)+\nu_2(\gamma_1-1)}-1}$;

b) $L = \dfrac{(\nu_1+\nu_2)R\Delta T}{\dfrac{\nu_1\gamma_1(\gamma_2-1)+\nu_2\gamma_2(\gamma_1-1)}{\nu_1(\gamma_2-1)+\nu_2(\gamma_1-1)}+1}$;

c) $L = \dfrac{(\nu_1+\nu_2)R\Delta T}{\dfrac{\nu_1\gamma_1(\gamma_1-1)+\nu_2\gamma_2(\gamma_2-1)}{\nu_1(\gamma_2-1)+\nu_2(\gamma_2-1)}-1}$;

d) $L = \dfrac{(\nu_1+\nu_2)R\Delta T}{\dfrac{\nu_1\gamma_2(\gamma_2-1)+\nu_2\gamma_1(\gamma_1-1)}{\nu_1(\gamma_2-1)+\nu_2(\gamma_1-1)}-1}$.

12. O cantitate $\nu = 1$ mol de gaz perfect parcurge ciclul din figura 72 unde $p_1 = 10^5$ P, $V_1 = 15$ l, $p_2 = 2p_1$ și $V_3 = 2V_1$.

Randamentul maxim Carnot al unui motor ce ar funcționa după acest ciclu de transformări este:

a) $\eta = 46\%$; b) $\eta = 66\%$; c) $\eta = 56\%$; d) $\eta = 80\%$.

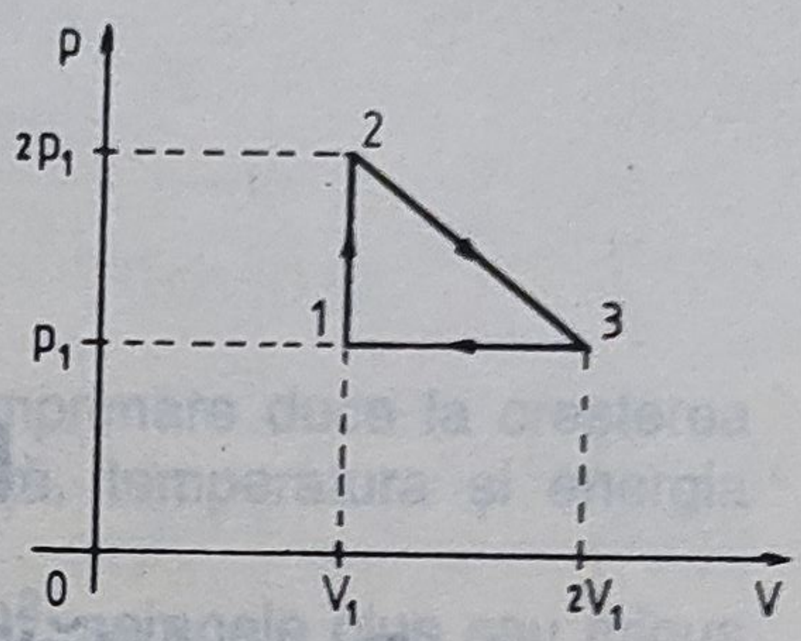


Fig. 72.

Răspunsuri

1. Proprietățile moleculare ale substanței

1.9. $m_0 \approx 7{,}31 \cdot 10^{-23}$ g; $\rho_0 = 1{,}964$ kg/m^3; $\rho_r = 1{,}519$; $\nu = 0{,}1$ moli; $V_0 = (m/\mu) \cdot V_{\mu 0} = 2{,}242$ l

1.10. a) $N = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}\right) N_A = 13{,}55 \cdot 10^{23}$ molecule; b) $p_{H_2} = \frac{100}{3}$, $p_{O_2} = \frac{200}{3}$;

c) $\rho = 0{,}6 \frac{g}{l}$

1.11. $V_o = \frac{\mu}{\rho N_A} = 2{,}45 \cdot 10^{-29}$ m^3; $d = 2{,}9 \cdot 10^{-10}$ m; $\sqrt{\overline{v^2}} = 192{,}94 \frac{m}{s}$

1.12. $K\% = 100 \frac{N_A \pi d^3}{V_{\mu_o} \cdot 6} = 0{,}0014$.

1.13. a) $m_0 = \frac{\mu}{N_A} = 2{,}656 \cdot 10^{-26}$ kg; b) $\overline{\varepsilon}_t = \frac{\mu}{N_A} \cdot \frac{\overline{v^2}}{2} = 62{,}106 \cdot 10^{-22}$ J;

c) $\overline{\varepsilon}_c = 12{,}42 \cdot 10^{-21}$ J, $U = N\overline{\varepsilon}_c = 74{,}8 \cdot 10^{-2}$ J;

d) $p = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{N_A} \cdot \frac{\mu}{V} \overline{v^2} = 93{,}5 \cdot 10^{-3}$ torr; e) $T = \frac{\mu \overline{v^2}}{3R} = 300$ K; $m = \frac{N}{N_A} \mu = 16 \cdot 10^{-4}$ g

1.14. Energia cinetică se dublează, iar $\sqrt{\overline{v^2}}$ crește cu factorul $\sqrt{2}$.

1.15. Heliul, fiind gaz monoatomic, are $i = 3$ și dioxidul de carbon, $i = 6$.

Deci heliul se va încălzi mai repede și presiunea va crește mai mult decât în cazul CO_2, iar picătura de mercur se va deplasa spre balonul cu CO_2.

1.16. Amoniacul are masa moleculară mai mică și difuzează mai repede:

$$\overline{\varepsilon}_{t_{NH_3}} = \overline{\varepsilon}_{t_{HB_r}} \Leftrightarrow \frac{m_{NH_3} \cdot \overline{v^2}_{NH_3}}{2} = \frac{m_{HB_r} \cdot \overline{v^2}_{HB_r}}{2} \Rightarrow \frac{\sqrt{\overline{v^2}_{NH_3}}}{\sqrt{\overline{v^2}_{HB_r}}} = \sqrt{\frac{m_{HB_r}}{m_{NH_3}}} > 1.$$

În consecință, are loc o deplasare a echilibrului spre dreapta.

1.17. Molecula lovește pistonul cu viteza relativă $v + u$ și se reflectă cu aceeași viteză, în modul, față de piston, $v + 2u$.

Variația de energie cinetică va fi:

$\Delta E = 2muv$ (s-a neglijat termenul cu u^2, deoarece $u << v$)

$$\frac{\Delta E_c}{E_c} = \frac{2muv}{\frac{mv^2}{2}} = \frac{4u}{v} = \frac{4}{500} = 0{,}8\%$$

La comprimarea gazului, lucrul mecanic de comprimare duce la creșterea energiilor cinetice ale moleculelor și, în consecință, temperatura și energia internă cresc.

1.18. a) $p = 2mnv^2\cos^2\alpha$; b) $p = 2mn(v\cos\theta \pm u)^2$, semnele plus sau minus depinzând de sensul de mișcare al peretelui.

1.19. Numărul mediu de ciocniri pe secundă, $\bar{z}$, ale moleculelor de oxigen este:

$$\bar{z} = \frac{\sqrt{\bar{v}^2}}{\lambda_2} \text{ și } \lambda_2 = \frac{p_1}{p_2}\lambda_1$$

$$\text{Atunci, } z_2 = \frac{1}{\lambda_1}\frac{p_2}{p_1}\sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 4{,}85\cdot10^7\ s^{-1}$$

1.20. Din relația $\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ avem $\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2 = \frac{3R\Delta T}{\mu}$. Pe de altă parte :

$$\Delta E_c = Q \Leftrightarrow mv^2/2 = mc_v\Delta T \Rightarrow \Delta T = v^2/2c_v \text{ și } \bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2 = \frac{3R}{2c_v}v^2$$

$$\text{a) } C_v = \frac{3R}{2} \Rightarrow \bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2 = v^2\text{; b) } C_v = \frac{5}{2}R \Rightarrow \bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2 = 0{,}6\,v^2$$

Sensul fizic este următorul: în gazul monoatomic, toată energia cinetică servește la mărirea energiei medii de translație a moleculelor; b) Pentru gazul biatomic, mărirea energiei mișcării de translație a moleculelor folosește 0,6 din energie; 0,4 din energie servește pentru mărirea energiei mișcării de rotație a moleculelor.

1.21. a) Energia internă a gazului este:

$$U = \frac{i}{2}\nu RT = \frac{i}{2}pv = \frac{i}{2}p\frac{m}{\rho} = \frac{5}{2}\,101325\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\cdot\frac{10^{-2}\,\text{kg}}{1{,}25\,\text{kg}\,m^{-3}} \cong 2026{,}5\ \text{J}$$

b) Din formula fundamentală a teoriei cinetico-moleculare, avem:

$$p = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2 = \frac{1}{3}\rho\bar{v}^2 \text{ se obține } \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = \sqrt{\frac{3\cdot101325\ \text{Nm}^{-2}}{1{,}25\ \text{kg m}^{-3}}} = 493{,}13\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c) Cum densitatea gazului este dată în condiții normale, rezultă că $T = T_0 = 273{,}15$ K și $\rho_0 = \mu/V_{\mu 0}$, de unde:

$$\mu = \rho_0 V_{\mu 0} = 1{,}25\ \text{kg/m}^3\cdot22{,}42\ \text{m}^3/\text{kmol} \approx 28\ \text{kg/kmol (azot)}$$

d) Masa moleculei este

$$m_o = \frac{\mu}{N_A} = \frac{28\ \frac{kg}{kmol}}{6{,}022\cdot10^{26}\ \frac{molecule}{kmol}} \cong 4{,}65\cdot10^{-26}\ \frac{kg}{molecul\breve{a}}$$

e) $E = i\frac{KT}{2} = \frac{5}{2}\cdot\frac{R}{N_A}\cdot T_o = \frac{5}{2}\cdot\frac{8314\ J\ kmol^{-1}K^{-1}\cdot 273\ K}{6{,}022\cdot10^{26}\ \frac{molecule}{kmol}} = 942\cdot10^{-23}\ \frac{J}{molecul\breve{a}}$

sau:

$$E = \frac{U}{N} = \frac{i}{2}\cdot\frac{pV}{\nu N_A} = \frac{i}{2}\cdot\frac{p V\mu}{m N_A} = \frac{i}{2}\cdot\frac{p m}{\rho m}\cdot\frac{\mu}{N_A} = \frac{5}{2}\cdot\frac{p V_{\mu_o}\rho_o}{\rho_o N_A} = \frac{5}{2}\cdot\frac{p V_{\mu_o}}{N_A} \cong 942\cdot10^{-23}\ J$$

1.22. a) Din ecuațiile de stare:

$pV = (m/\mu)\cdot RT$; $p'V = (m'/\mu)\cdot RT'$;

și $p' = p(1 - f_1)$; $T' = T(1 - f_2)$; $m' = m(1 - x)$

se obține: $x = \frac{f_1 - f_2}{1 - f_2} = 33{,}33\%$

b) $\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2}KT$; $\bar{\varepsilon}' = \frac{3}{2}KT' = \frac{3}{2}KT(1 - f_2)$; $\varepsilon - \varepsilon' = \varepsilon(1 - y) \Rightarrow y = f_2 = 10\ \%$

c) $U = \frac{3}{2}\nu RT$; $U' = \frac{3}{2}\nu' RT' = \frac{3}{2}\nu(1 - x)RT(1 - f_2) = U(1 - z)$

$z = f_2 + x - x f_2 \approx 40\ \%$

1.23. a) $m_0 = \mu/N_A = 2{,}99\cdot10^{-23}$ g/moleculă; b) $V_\mu = \mu/\rho = 18\ cm^3/mol$

c) $\nu = m/\mu = 10/9$; $N = \nu N_A = (m/\mu)\cdot N_A = 6{,}688\cdot10^{23}$ molecule

d) $U = i/2\cdot\nu RT = 3\cdot(m/\mu)\cdot RT = 10337$ J

e) $n = N/S = 6{,}6\cdot10^3$ molecule/cm^2

1.24. Energia potențială gravitațională este $E_p = m_0 gl = (\mu/N_A)\cdot gl$.

Energia cinetică medie moleculară este:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2}KT = \frac{i}{2}\cdot\frac{R}{N_A}T;\ \frac{E_p}{\bar{\varepsilon}} = \frac{2\mu g l}{i RT} = 55\cdot10^{-7}$$

$$pV = \frac{N}{N_A}RT \Rightarrow N = N_A\frac{pV}{RT} = 268{,}75\cdot10^{20}\ \text{molecule.}$$

1.25. Un electron–volt (eV) este energia pe care o capătă un electron care se mișcă liber între două puncte cu diferența de potențial de 1 V.

$$1\ eV = 1{,}6\cdot10^{-19}\ C\cdot 1\ V = 1{,}6\cdot10^{-19}\ J$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2}KT \Rightarrow T = \frac{2\bar{\varepsilon}}{3K} = \frac{2\cdot10{,}2\cdot1{,}6\cdot10^{-19}\ J}{3\cdot1{,}38\cdot10^{-23}\ J\ K^{-1}} \cong 7{,}9\cdot10^4\ K$$

2. Legile gazelor

2.3. $p = 1{,}07$ atm

2.4. $F \approx 26{,}7$ N

2.5. $V = 6{,}33\ m^3$

2.6. $h = 2{,}067$ m

2.7. Notând cu x ridicarea mercurului în tub, se va obține o ecuație de gradul II în x, la care rădăcina acceptabilă este

$$x = \frac{1}{2}(H + l + l') - \sqrt{(H + l + l')^2 - 4l'H}.$$

2.8. $H = 75$ cm Hg

2.13. $V = 17{,}3\ dm^3$

$$\nu = \frac{\left(p_{at} + \frac{G}{S}\right)V}{RT} = 0{,}4335 \text{ moli}$$

2.14. $p = 225400\ N/m^2$

2.15. $p = 175$ at; $m = 8{,}286$ kg

2.16. a) $\gamma = 13{,}093\ N/m^3$; b) $p = 26{,}75 \cdot 10^4\ N/m^2$; $\gamma = 13{,}093\ N/m^3$; $m \approx 4$ kg

2.17. $V = 0{,}088\ cm^3$

2.18. a) $V_{O_2}/V_{N_2} = 7/8$; b) $p_{O_2} = (7/8{,}8) \cdot p_{N_2}$; $\Delta n \approx 26{,}86 \cdot 10^{21}$ molecule mai multe la azot decât la oxigen.

2.19. $V = 8{,}96$ l; $\sqrt{\overline{v^2}} = 922{,}5$ m/s

2.20. $t = 41{,}3°C$; $\rho = 1{,}04$ g/l; $E_c = 225740$ J

2.21. $m = 0{,}112$ g

2.22. a) $Q/t = 76401{,}84$ kJ/h; b) $Q'/t = 43660{,}1$ kJ/h

2.23. $x = H'' + l\dfrac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t} \cdot \dfrac{H - H'}{1 + H' + H''}$

2.24. $t = 63°C$

2.25. $Q_V = V\dfrac{\mu}{V_{\mu_o}} c_V \dfrac{\Delta p}{p_0 \alpha} = 35496$ KJ

2.26. a) $\sqrt{\overline{u^2}_{O_2}} = 450\ \dfrac{m}{s}$

b) $\rho_{O_2} = 1{,}429\ kg/m^3$; $d \approx 1{,}105$

c) $V = 2{,}24\ cm^3$; $m \approx 3{,}2$ mg; d) masa moleculei $= 5{,}156 \cdot 10^{-23}$ g

2.27. $d = \sqrt{\dfrac{4m\,p_o T}{\pi\,\rho_o\,t\,p\,T_o\,v}} \cong 5{,}4$ cm

2.28. a) $m = \dfrac{28\,\pi\,R_1^3}{3}\,\rho_o$; b) $x \cong 6{,}72\,\pi\,R_1^2\,\rho_o$

2.30. m = 0,74 g

2.31. p = 18,4 at; p'_1 = 2 at, p'_2 = 2,4 at, p'_3 = 14 at

2.32. p_{H2} = 1,286 at; p_{N2} = 1,376 at; p = 2,662 at

2.33. a) $\mu = \dfrac{(m_1 + m_2)\,\mu_1\,\mu_2}{m_1\,\mu_2 + m_2\,\mu_1} = 5{,}7\,\dfrac{g}{mol}$

b) $\rho = \dfrac{\mu\,p}{RT} = 23{,}6\,\dfrac{kg}{cm^3}$; $\rho_o = \dfrac{\mu\,p_o}{RT_o} = 2{,}5\,\dfrac{kg}{m^3}$

c) $V = \dfrac{RT}{p}\left(\dfrac{m_1}{\mu_1} + \dfrac{m_2}{\mu_2}\right) = 5{,}06 \cdot 10^{-3}\ m^3$

d) $p_1 = \dfrac{m_1}{\mu_1}\cdot\dfrac{RT}{V} = 9{,}6 \cdot 10^5\,\dfrac{N}{m^2}$; $p_2 = \dfrac{m_2}{\mu_2}\cdot\dfrac{RT}{V} = 0{,}4 \cdot 10^5\,\dfrac{N}{m^2}$

2.34. $\Delta V = \dfrac{(2p_1 - p_2)\,V_1 V_2}{2p_1 V_1 + p_2 V_2}$

2.35. $T = T_1\,\dfrac{3p_o}{p_o + \dfrac{1}{3}\,\rho\,gL}$

2.36. $n = \dfrac{6}{\log \dfrac{V + V_o}{V}} = 6$

2.37. a) $x = \dfrac{1}{2}\left[\sqrt{H^2 + l^2} - H + l\right] = 14{,}5$ cm aer; b) $l < H \Rightarrow x = 0$

2.38. a) N = $2 \cdot 10^{12}$ ciocniri/s; b) $K = \dfrac{n_2}{n_1} = \sqrt{\dfrac{10}{3}} = 1{,}825$; c) p = $4/3 \cdot 10^5$ N/m^2

2.39. Condiția de echilibru a cubului este:

$$F_A = G \Leftrightarrow \rho a x h g = G \qquad (1)$$

Gazul din cub suferă o transformare izotermă:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Leftrightarrow p_o\,a^3 = \frac{p_o\,a^2 + \rho\,g\,\dfrac{h}{2}\,a\,h}{a^2}\cdot a^2\,x \qquad (2)$$

Din ecuațiile (1) și (2) se obține:

$$x=\frac{G}{\rho\, a\, h\, g},\ h=\frac{a^2}{G}\left(p_0\pm\sqrt{p_0^2-\frac{2p_0\,G^2}{\rho\, g\, a^5}}\right)$$

2.40. a) Dacă p este presiunea finală și x deplasarea picăturii de lichid în sensul de la B spre A, din legea transformării generale rezultă:

$$\frac{p_0\,V_A}{T_0}=\frac{p(V_A-S^x)}{T_A},\ \frac{p_0\,V_B}{T_0}=\frac{p(V_B+S^x)}{T_B}$$

Din cele două relații se obține: $x=\dfrac{V_AV_B(T_B-T_A)}{S(V_AT_A+V_BT_B)}=240$ cm

b) $N=\dfrac{p_0\,N_A}{RT_0}(V_A+V_B)=84{,}65\cdot10^{20}$ molecule.

2.41. Din legile gazelor și condiția de echilibru se obține:

$$(x-1)\left(1+\frac{1}{x}\right)=\frac{T_1}{T_2}(n-1)\left(1+\frac{1}{n}\right)$$

Din datele problemei rezultă:

$$x=1+\sqrt{2}=2{,}41$$

2.42. Presiunea amestecului de gaze, conform legii lui Dalton, este suma presiunilor parțiale, adică:

$$p=p_1+p_2+\ldots+p_n$$

Masa amestecului de gaze este:

$$m=m_1+m_2+m_3$$

Masa molară medie este μ. În consecință, rezultă că:

$$pV=(m/\mu)\cdot RT=(m_1/\mu_1+m_2/\mu_2+\ldots+m_n/\mu_n)RT$$

din care:

$$\frac{1}{\mu}=\frac{m_1}{m}\cdot\frac{1}{\mu_1}+\frac{m_2}{m}\cdot\frac{1}{\mu_2}+\ldots+\frac{m_n}{m}\cdot\frac{1}{\mu_n}\ \text{cu}\ \frac{m_i}{m}=c_i$$

$$\frac{1}{\mu}=\frac{c_1}{\mu_1}+\frac{c_2}{\mu_2}+\ldots+\frac{c_n}{\mu_n}=\sum_{i=1}^{n}\frac{c_i}{\mu_i}\Rightarrow\mu=\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\frac{c_i}{\mu_i}}$$

2.43. a) Din legea amestecurilor se obține $p' = p_0 \cdot T/T_1$, unde T este temperatura finală, care se obține din ecuația calorimetrică, și $T_1 = 293$ K.

$$n_A(T - T_A) + n_B(T - T_B) = 0 \Rightarrow T = \frac{n_A T_A + n_B T_B}{n_A + n_B} = \frac{V_A T_A + V_B T_B}{V_A + V_B}$$

Atunci $p' = p_0 \dfrac{V_A T_A + V_B T_B}{T_1 (V_A + V_B)} = 163572$ Pa

b) $n_A = p'V_A/RT = p_0 \cdot V_A/RT_1 = 0{,}0416$ moli; $n_B = p'V_B/RT = p_0 \cdot V_B/RT_1 =$ $= 0{,}0832$ moli

c) $\Delta n = n_A - n_B = 0$; numărul de moli din cele două vase nu s-a modificat prin încălzire.

2.44. a) Din condiția de echilibru static a pistonului, avem:

$$p_0 S + Mg + kx = pS \qquad (1)$$

Energia de deformare a resortului este: $W = \dfrac{k x^2}{2}$ (2)

Ecuația de stare a gazului este: $pSh = \dfrac{m}{\mu} \cdot RT$ (3)

Din relațiile (1), (2) și (3) se obține înălțimea h la care se găsește pistonul în cilindru.

$$h = \frac{m RT}{\mu (p_0 S + Mg + \sqrt{2k W})} = 0{,}593 \text{ m.}$$

b) Din ecuația de stare: $p'Sh = (m/\mu) \cdot RT'$; $p'S = Mg + p_0 S$, se obține:

$$T' = \frac{(Mg + p_0 S) h \mu}{R m} = 313{,}83 \text{ K} \cong 41^{\circ}\text{C}$$

2.45. a) Inițial, presiunea oxigenului era $p_2 = p_1 + mg/S$, unde p_1 este presiunea heliului și S aria secțiunii transversale a pistonului. Prin difuzia heliului, presiunea lui parțială va fi aceeași în ambele compartimente, iar pistonul va fi susținut de presiunea parțială a oxigenului din compartimentul inferior, adică $p'_2 = mg/S$.

Din transformarea suferită de oxigen, avem:

$$p_2 \frac{V}{2} = p'_2 \left(\frac{V}{2} + S x\right) \Rightarrow x = \frac{p_1 V}{2mg}$$

b) Din legea transformării generale: $\dfrac{p_2 \dfrac{V}{2}}{T} = \dfrac{p''_2 \left(\dfrac{V}{2} + S x'\right)}{(k+1)T}$

rezultă:

$$x' = k\frac{V}{2s} + (k+1)\frac{p_1 V}{2mg}.$$

46.2. Se trasează izocorele prin punctele 1 și 2 (fig. 73).

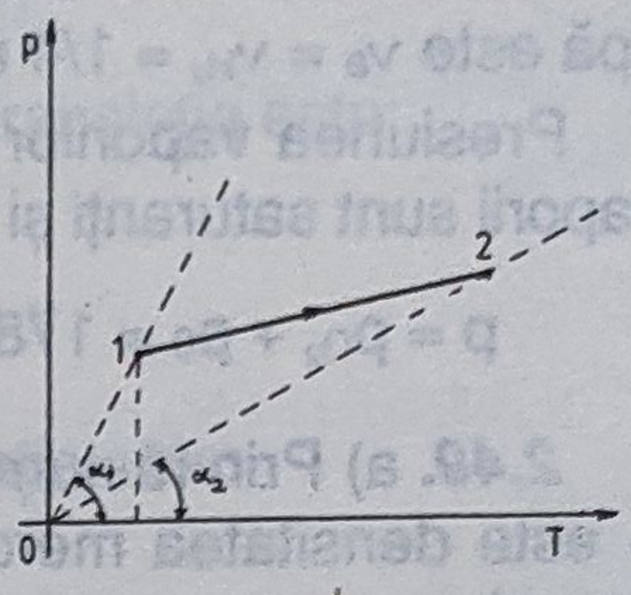


Fig. 73.

$$\text{tg}\alpha_1 = \frac{p_1}{T_1} \text{ și } p_1V_1 = \nu RT_1, \text{ deci } \text{tg}\alpha_1 = \frac{m}{\mu}\cdot\frac{R}{V_1}$$

Analog, se obține $\text{tg}\alpha_2 = \frac{m}{\mu}\cdot\frac{R}{V_2}$

$\frac{tg\,\alpha_1}{tg\,\alpha_2} = \frac{V_2}{V_1}$; cum $\alpha_1 > \alpha_2 \Rightarrow V_2 > V_1$ – deci volumul de gaz a crescut.

2.47. a) Se trasează izocorele pentru cele 3 stări și se calculează pantele respective (fig. 74)

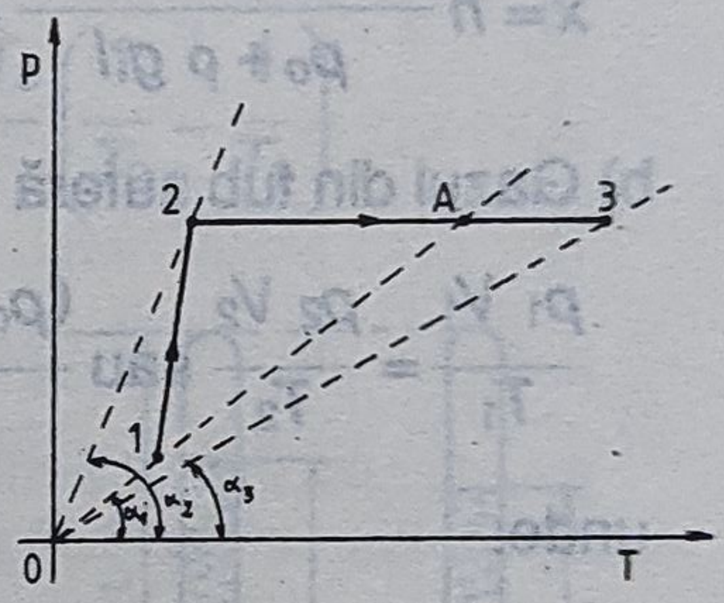


Fig. 74.

$$tg\,\alpha_1 = \frac{p_1}{T_1} = \frac{m\,R}{\mu\,V_1} = \frac{\rho_1\,R}{\mu}$$

$$tg\,\alpha_2 = \frac{p_2}{T_2} = \frac{m\,R}{\mu\,V_2} = \frac{\rho_2\,R}{\mu}$$

$$tg\,\alpha_3 = \frac{p_3}{T_3} = \frac{m\,R}{\mu\,V_3} = \frac{\rho_3\,R}{\mu}$$

De la starea 1 la starea 2, $\text{tg}\alpha_2 > \text{tg}\alpha_1 \Rightarrow V_2 < V_1$ și $\rho_2 > \rho_1$.
De la starea 2 la starea 3, $\text{tg}\alpha_3 < \text{tg}\alpha_2 \Rightarrow V_3 > V_2$ și $\rho_3 < \rho_2$.

b) Se observă că izocora dusă prin starea 1 taie izobara 2–3 în punctul A. Deci stările 1 și A au aceleași volum și densitate.

2.48. Se observă că la un volum de hidrogen intrat în reacție corespunde o jumătate de volum de oxigen. Rezultă că, după reacție, rămân în recipient jumătate din volumul de oxigen introdus și apă.

Presiunea va fi:

$$p = p_{O_2} + p_v$$

$$\frac{p_{O_2} V}{T} = \frac{p_o V'}{2T_o}; \; p_{O_2} = \frac{1}{2} p_o \frac{V'}{V}\cdot\frac{T}{T_o} = 77528 \text{ Pa}$$

Pentru a calcula presiunea vaporilor, trebuie să vedem dacă vaporii sunt

saturanți sau nu.

Numărul de moli de H_2 este $\nu_{H_2} = 5{,}6\ l/22{,}4\ l = 0{,}25$ moli. Numărul de moli de apă este $\nu_a = \nu_{H_2} = 1/4$ moli.

Presiunea vaporilor la 100°C va fi $p_v = \nu_a RT/V = 155056$ Pa. Cum $p_v > p_0$, vaporii sunt saturanți și presiunea este:

$$p = p_{O_2} + p_0 = 178853 \text{ Pa}$$

2.49. a) Prin răsturnarea tubului, gazul suferă o transformare izotermă. Dacă ρ este densitatea mercurului, S secțiunea tubului și p_0 presiunea atmosferică, atunci:

$$(p_0 + \rho g h)(l - h) S = (p_0 - \rho g x)(l - x) S$$

și, neglijând pe x^2, pentru $x << l$ avem:

$$x = h \frac{p_0 - \rho g (l - h)}{p_0 + \rho g l} = 3{,}5 \text{ cm}$$

b) Gazul din tub suferă o transformare generală, deci:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ sau } \frac{(p_0 + \rho g h)(l - h)}{T_1} = \frac{p_0 l S}{T_2}$$

unde:

$$T_2 = T_1 \frac{p_0 l S}{(p_0 + \rho g h)(l - h)} = 320{,}53 \text{ K} = 47{,}53^\circ \text{ C}.$$

2.50. a) Debitul de masă în curgerea fluidului gazos este:

$$Q_m = \frac{m}{\tau} = S v \rho = S v \rho_0 \frac{p T_0}{p_0 T} = S v \frac{\mu}{V_{\mu_0}} \cdot \frac{p T_0}{p_0 T} = S v \frac{p}{RT} \mu$$

Rezultă că:

$$v = \frac{m R T}{S p \mu \tau} \quad (1)$$

Masa de gaz m este acumulată în cilindru și se calculează din ecuația de stare:

$$p_1 V_1 = (m/\mu) \cdot R T_1 \Rightarrow m = \frac{\mu p_1 V_1}{R T_1} \quad (2)$$

Deci, din relațiile (1) și(2) avem:

$$v = \frac{p_1 V_1}{S p \tau} \cdot \frac{T}{T_1} \approx 0{,}87 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Energia cinetică medie moleculară în mișcarea de translație este:

$$\bar{\varepsilon}_{tr} = \frac{3}{2} K T_1 = \frac{3}{2} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 290 \text{ K} = 6 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

Energia cinetică medie moleculară în mișcarea de rotație este:

$$\bar{\varepsilon}_{rot} = \frac{3}{2} K T_1 = 6 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

Energia cinetică medie moleculară este:

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}_{tr} + \bar{\varepsilon}_{rot} = 12 \cdot 10^{-21} \text{ J}.$$

2.51. Forța ce acționează asupra clapetei este o forță de presiune:

$$F = S\Delta p = S[p + \rho_2 gh - (p + \rho_1 gh)] = S g h \cdot \frac{\rho_0 p T_0}{p_0} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Înlocuind valorile numerice se obține F = 20 N.

2.52. Se aplică legea transformării generale pentru masa de gaz ce a pătruns în tubul barometric (fig. 75) :

$$\frac{(H - h_1) S (L - h_1)}{T_1} = \frac{(H - h) S (L - h)}{T}$$

$T = T_0 + t = 1/\alpha + t$ și $T_1 = T_0 + t_1 = 1/\alpha + t_1$

iar corecția este: $p_1 = H - h_1$

$$p_1 = H - h \frac{L - h}{L - h_1} \cdot \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t}$$

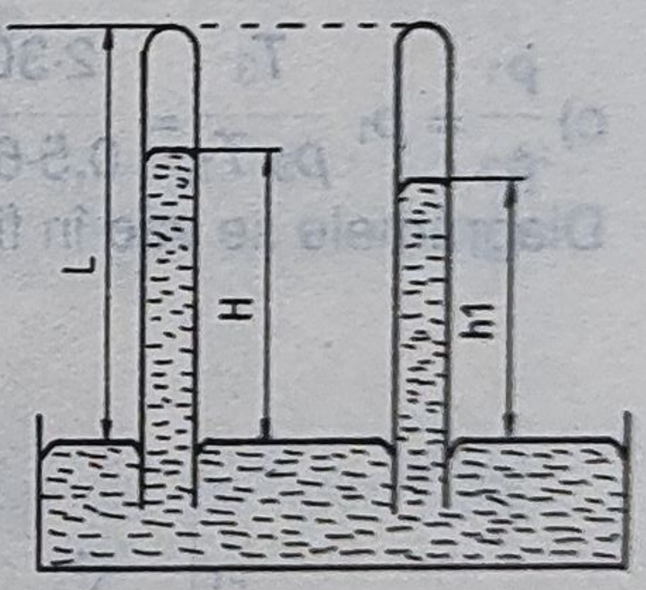


Fig. 75.

2.53. Masa totală de gaz din cele două vase se conservă:

$$m_1 + m_2 = m'_1 + m'_2$$

Folosind ecuația de stare și presiunea finală fiind p', avem:

$$\frac{pV_1}{T} + \frac{pV_2}{T} = \frac{p' V_1}{T'} + \frac{p' V_2}{T'}, \text{ de unde } p' = pk(1 + n) \frac{1}{1 + nk} = \frac{8}{7} p \approx 2{,}28 \text{ kPa}$$

b) $$\frac{\Delta m_2}{m_2} = \frac{m'_2 - m_2}{m_2} = \frac{p'}{p} - 1 = \frac{1}{7}$$

c) $\Delta\bar{v}^2 = \bar{v}'^2 - \bar{v}^2 = \frac{3R}{\mu}(T' - T) = \frac{3RT}{\mu} = \bar{v}^2$, deci $\frac{\Delta\bar{v}^2}{\bar{v}^2} = 1$

Variația pătratului vitezei termice este egală cu pătratul vitezei termice inițiale.

2.54. a) $\mu = N_A \cdot m_0 \Rightarrow m_0 = \frac{\mu}{N_A} = \frac{16\ \frac{g}{mol}}{6{,}022 \cdot 10^{23}\ \frac{molecule}{mol}} = 2{,}657 \cdot 10^{-23}$ g

$p_1V_1 = \nu RT$, $\nu = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{2 \cdot 101325\ Nm^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-3}\ m^3}{8314\ J\ kmol^{-1}\ K^{-1} \cdot 600\ K} \cong 0{,}24$ moli

b) $p_1V_1 = p_2V_2$; $V_2 = 2V_1 = 12$ l, $p_2 = (1/2) \cdot p_1 = 1$ atm, $T_2 = T_1 = 600$ K

$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$, $p_3 = \frac{1}{2} p_2 = 0{,}5$ atm, $V_3 = V_2 = 12$ l, $T_3 = \frac{T_2}{2} = 300$ K

$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_4}{T_4}$, $T_4 = T_3 \frac{V_1}{V_3} = 150$ K, $V_4 = 6$ l, $p_4 = 0{,}5$ atm

c) $\frac{\rho_1}{\rho_3} = p_1 \frac{T_3}{p_3 T_1} = \frac{2 \cdot 300}{0{,}5 \cdot 600} = 2$; $\frac{\rho_3 - \rho_1}{\rho_1} = -\frac{1}{2}$

Diagramele se văd în fig. 76 a și b.

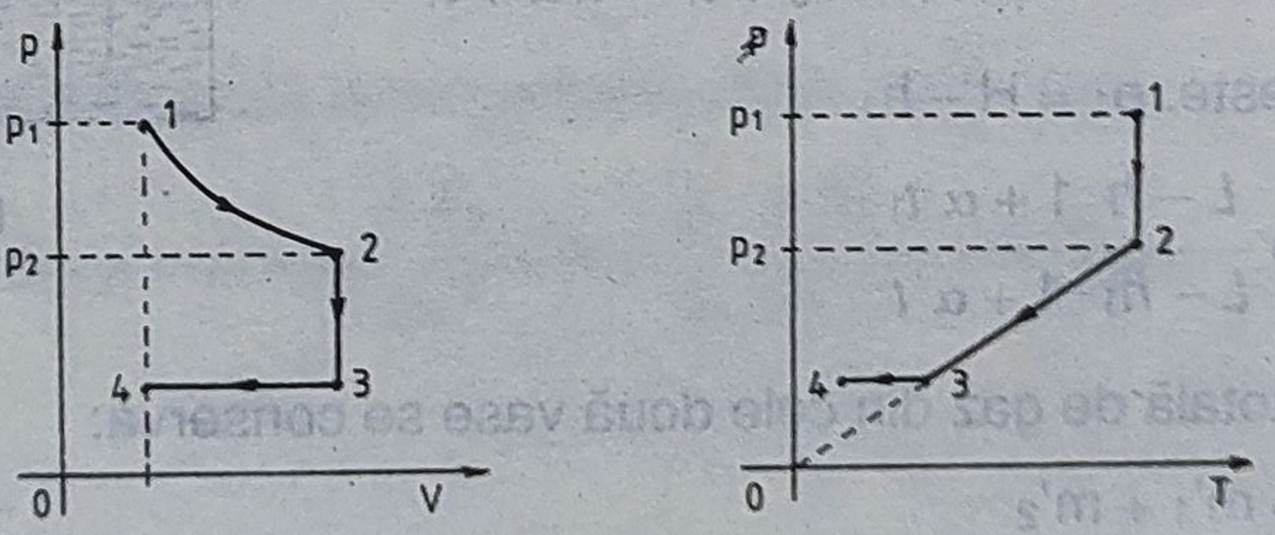


Fig. 76 a și b.

2.55. a) $p_1 = \frac{m RT}{\mu_1 V}$; $p_2 = \frac{m RT}{\mu_2 V}$; $p_3 = \frac{m RT}{\mu_3 V}$

b) $p(V_1 + V_2 + V_3) = 3pV = \left(\frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} + \frac{m}{\mu_3}\right) RT \Rightarrow p = \frac{m RT}{3V}\left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_3}\right)$ (1)

c) Notăm m_1, m_2 și m_3 masele din gazul respectiv rămase în vasele în care au fost.

Fie m'_1, m'_2 și m'_3 masele de gaz care au trecut în vasele 1, 2 și 3. (fig. 77) cu $p_3 > p_2 > p_1$.

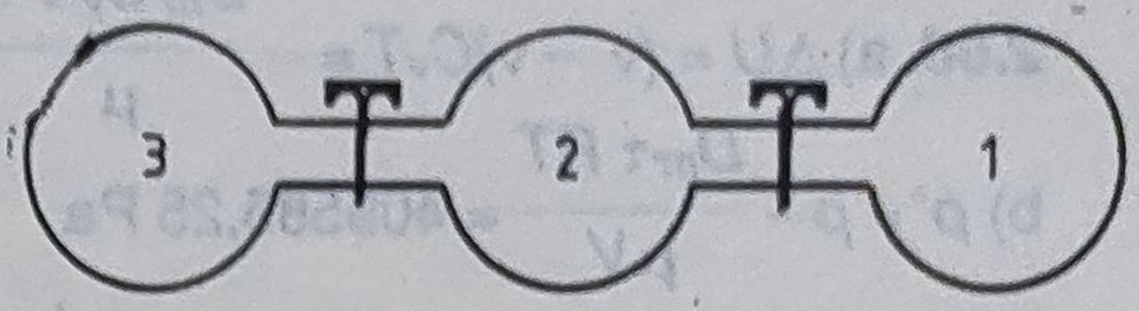


Fig. 77.

Pentru vasul 3, avem:

$$pv=\frac{m_3}{\mu_3}RT\Rightarrow m_3=\frac{m\mu_3}{3}\left(\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}+\frac{1}{\mu_3}\right)$$

$$pV=\left(\frac{m}{\mu_1}+\frac{m'_2}{\mu_2}\right)RT$$ și ținând seama de relația (1), obținem:

$$m'_2=\frac{m\mu_2}{3}\left(\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}+\frac{1}{\mu_3}\right)-\frac{m\mu_2}{\mu_1}$$ – pentru vasul 1

Cum $m = m_1$, avem:

$m_2 = m - m'_2$ reprezintă masa din gazul 2 rămasă în vasul 2.

$m'_3 = m - m_3$ reprezintă masa din gazul 3 care a trecut în vasul 2.

2.56. a) $p= m_o v_T=\frac{\mu}{N_A}\sqrt{\frac{3HV}{m}}=25{,}214\cdot10^{-24}\ \text{kg}\frac{m}{s}$

b) $\vec{p}_{tot}=\sum_{i=1}^{N}\vec{p}_i=0$

2.57. $m'_1=\frac{1}{3}\cdot\frac{\mu}{RT}(p_1V_1+p_2V_2)\approx 10\ \text{g};\ m'_2=\frac{2}{3}\cdot\frac{\mu}{RT}(p_1V_1+p_2V_2)\approx 20\ \text{g}$

$$n=\frac{N}{V_{tot}}=(p_1+2p_2)\frac{N_A}{3RT}=3{,}77\cdot10^{25}\ \frac{\text{molecule}}{\text{m}^3}$$

2.58. a) Picătura de mercur se deplasează până când presiunea din baloane devine aceeași.

$$x=\frac{4V\cdot\Delta T}{\pi d^2 T}=12{,}5\ \text{cm}$$

b) $\Delta U=\Delta U_1+\Delta U_2=\nu C_v[(T+\Delta T)+T]+\nu C_v[(T-\Delta T)-T]=0$

2.59. a) $N=\frac{2W}{5KT}=10^{24}$ molecule

b) $pV=\frac{m}{\mu}RT\Rightarrow\rho=\frac{\mu p}{RT}\approx 1{,}28\ \text{kg/m}^3$

2.60. a) $\Delta U = (\nu' - \nu)C_V T = -\dfrac{D_m C_V \tau\, T}{\mu} = -226$ J

b) $p' = p - \dfrac{D_m \tau\, RT}{\mu V} = 409585{,}25$ Pa

c) $\Delta\rho = \rho' - \rho = \dfrac{\mu}{RT}(p' - p) = -1{,}2\ \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

2.61. Prin introducerea apei în cilindru prin tub, în vas avem un strat de apă de înălțime x (fig. 78), aer și vapori saturanți. Aerul a trecut de la presiunea p_1, volumul V_1 și temperatura T_1 la presiunea p_2, volumul V_2 și temperatura T_2. Din relația de echilibru al presiunilor și din legea transformării generale, avem:

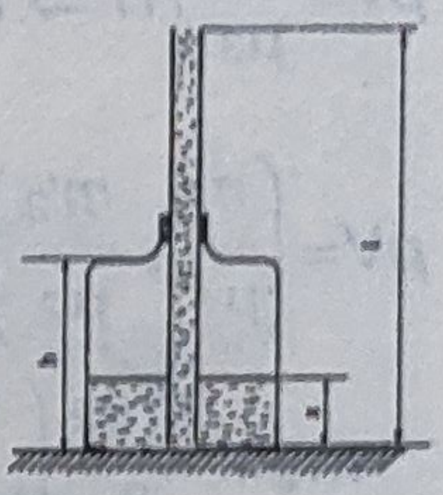


Fig. 78.

$$p_2 + p_s = \rho g(l - x) + p_1 \quad (1) \quad \text{și} \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$\rho g x^2 - x[\rho g(l + h) + p_o] - p_1 h\frac{T_2}{T_1} - p_s h + \rho g l h + p_1 h = 0$$

Înlocuind cu valorile numerice, rezultă ecuația:

$$x^2 - 11{,}2\,x + 0{,}053 = 0$$

Prin rezolvarea ecuației de gradul 2 se obține $x \approx 1$ cm.

3. Principiul I al termodinamicii

3.2. Q = 752400 J
3.3. Q = 2090 MJ
3.4. c = 125,4 J/kg·grd
3.5. $Q_{Fe}/Q_{Al} = 13/9$
3.6. Q = 2851,714 kJ; m = 8620,3 g
3.7. c = 923,78 J/kg·grd
3.8. c = 379,96 J/kg·grd
3.10. $\theta = 60°C$
3.11. t = 853,3°C
3.12. $\theta = 1{,}25°C$; m = 464,4 g
3.13. mc = 69,388 J/K
3.14. $\theta = 12{,}17°C$

3.15. $\theta \approx 18{,}86^{\circ}C$

3.16. $t = 84{,}5^{\circ}C$

3.17. $c = 1716$ J/kg·K

3.18. $Q = 4361{,}25$ J

3.19. $c = 3641{,}82$ J/kg·K

3.20. $m_{Fe} = 2$ kg; $m_{Cu} = 3$ kg

3.21. $m_1 = 4$ kg; $m_2 = 2$ kg; $m_3 = 1$ kg

3.23. $\eta = 29{,}9\ \%$

3.24. $m = 200$ kg apă

3.25. a) $\rho = \mu p/RT = 3{,}85$ kg/m^3; b) $t = \dfrac{\eta\, q\, p\, T_o}{P\, p_o\, T}\, V = 118$ s

c) $m = \dfrac{q\, V(p - p')}{c\, \Delta t\, T\, p_o}\, T_o = 3{,}68$ kg

3.26. $m_1 = 9{,}3$ kg; $m_2 = 9{,}62$ kg

3.27. $m = 11{,}62$ g

3.32. $\Delta t = 6^{\circ}$

3.33. $Q = 1200$ J; $\Delta t = 0{,}48^{\circ}C$

3.34. $t_1 = 14{,}9^{\circ}C$; $t_2 = 14{,}94^{\circ}C$

3.35. $V_0 \approx 44$ l

3.36. $\Delta t = \dfrac{0{,}8\, \mu\, v_0^2 \cos\alpha}{c(\sin\alpha + \mu \cos\alpha)} = 0{,}0113^{\circ}\,C$

3.37. $E_c = 125$ J; $Q = 195875$ J

3.38. $v = 2{,}47$ m/s; $\Delta t = 0{,}03^{\circ}C$

3.39. a) $t = 8{,}12$ s; b) $\Delta t = 3{,}315^{\circ}C$

c) $\Delta V = 1{,}2 \dfrac{d}{\rho} \cdot \dfrac{m_1 v_{01}^2 + m_2 v_{02}^2}{c} = 189 \cdot 10^{-4}$ cm^3

3.40. $m = 75{,}96$ kg

3.41. $\alpha = \arccos 0{,}48 \approx 61^{\circ}30'$; b) $\Delta t = 19{,}45^{\circ}C$

3.42. $t_2 = 26{,}36^{\circ}C$

3.43. $t'_2 = 128{,}8^{\circ}C$; $t''_2 = 22{,}9^{\circ}C$

3.44. a) $\eta = 24{,}74$; b) $\sin\alpha \approx 0{,}135$

3.48. $Q = Q_1 + Q_2$; $V_2/V_1 = T_2/T_1 = 1 + \dfrac{Q}{\nu RT} = 2$ (fig. 78)

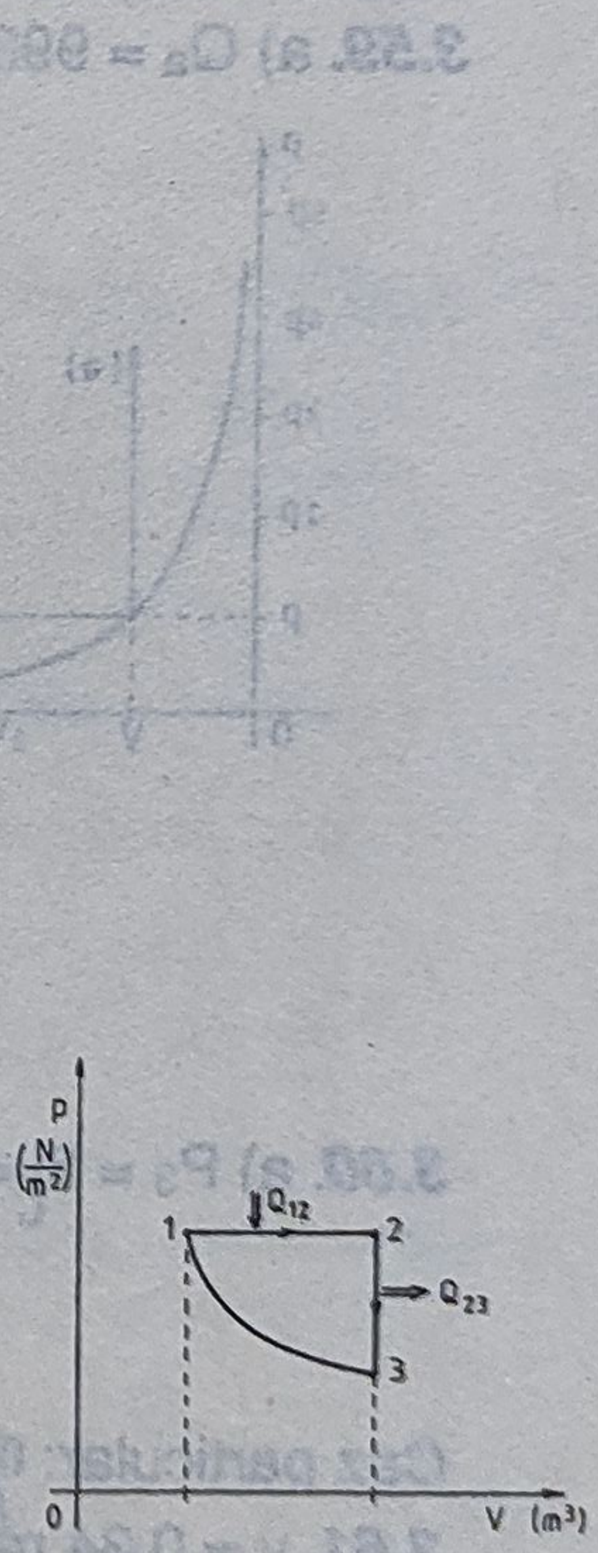


Fig. 78.

3.49. a) $p_2 = p_1 \left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} = 46{,}4 \cdot 10^5 \dfrac{\text{N}}{\text{m}^2}$; $T_2 = T_1 \left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma - 1} = 853$ K

b) $L = \dfrac{p_2\, V_2 - p_1\, V_1}{1 - \gamma} = -\,18054$ J

3.50. $L = (p_o S + G)\left(h - h_o \ln \frac{h + h_o}{h_o}\right) = 2{,}375$ J

3.51. a) $p' = 317{,}52 \cdot 10^4$ N/m^2; $t = 491^\circ$C; b) $L = 4300$ J

3.52. $p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$; $T = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2}}$

3.53. a) $P = 37{,}8$ kW; b) $m = 3250$ kg/h

3.54. $V_1 = 571 \cdot 10^{-6}$ m^3; $V_2 = 0{,}02055$ m^3, $T_2 = 69{,}8$ K; $L_{12} = 15926$ J

3.55. $t_1 = 368^\circ$C; $Q = 3499857$ J; $\Delta U = 2499857$ J

3.56. a) I, apă; II, alcool; b) $\frac{tg\,\alpha_1}{tg\,\alpha_2} = \frac{c_2}{c_1} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{4}{7}$

3.57. a) $\eta = 88\%$; b) $V = 23{,}75$ m^3(N) gaz metan

3.58. $\theta = 25{,}3^\circ$C

3.59. a) $Q_a = 9937$ J; b) $Q_b = 13858$ J; c) $Q_c = 1628{,}9$ J; d) Fig. 79 (a și b)

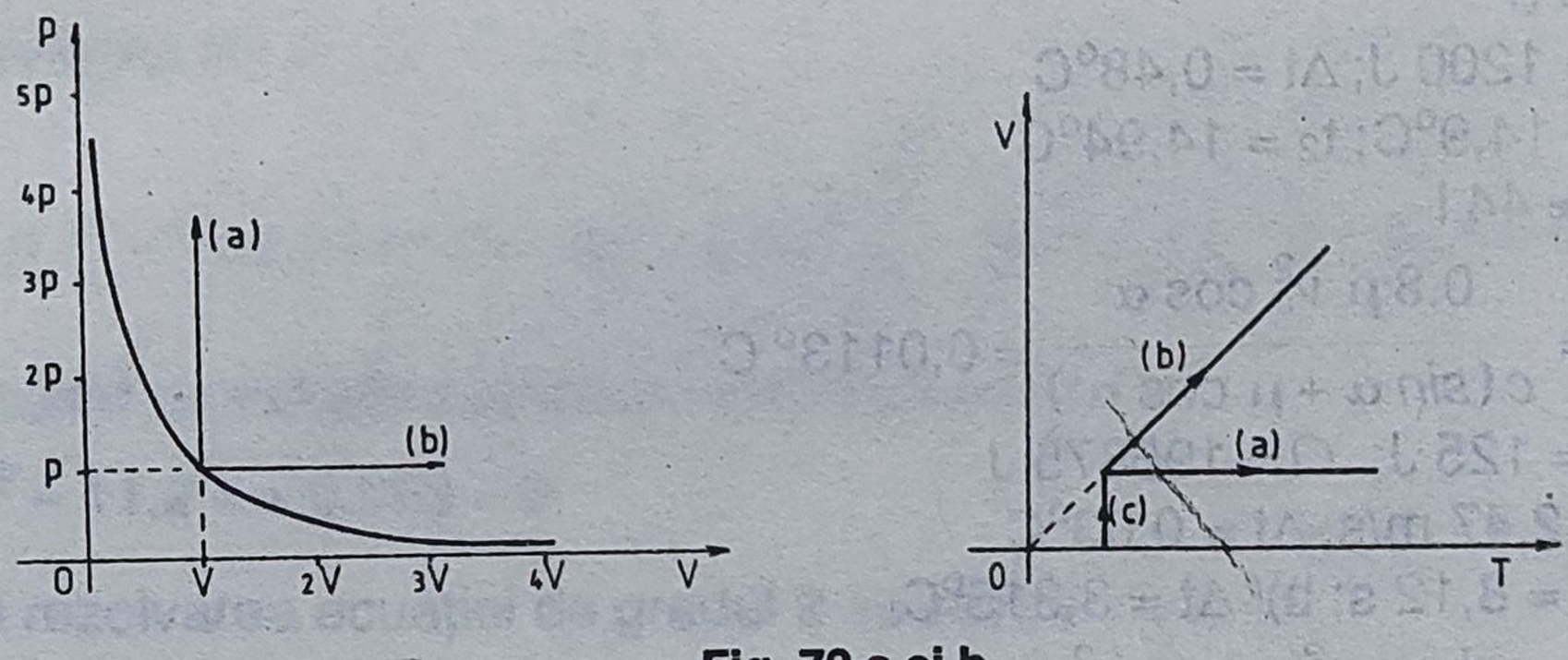


Fig. 79 a și b.

3.60. a) $P_3 = 3! = 6$; b) $\theta = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i c_i t_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i c_i}$

Caz particular: $\theta = (7/3) \cdot t_3$

3.61. $v = 0{,}34$ m/s; $Q_{dizolv} = 5360$ kJ/kmol

3.62. a) Din ecuația calorimetrică și legea lui Dalton, rezultă:

$$T = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1} \cdot T_1 T_2 \qquad (1)$$

$$p = \frac{T}{V_1 + V_2} \cdot \frac{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1}{T_1 T_2} \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2): $p = \dfrac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} = 1{,}125$ atm

și temperatura $T = 272{,}72\,K \approx 0^\circ C$

b) $n_1 = \dfrac{N_1}{V_1 + V_2} = \dfrac{V_1}{V_1 + V_2} \cdot \dfrac{p_1}{RT_1} N_A = 13{,}76 \cdot 10^{24}\ m^{-3}$

$n_2 = \dfrac{N_2}{V_1 + V_2} = \dfrac{V_2}{V_1 + V_2} \cdot \dfrac{p_2}{RT_2} N_A = 16{,}51 \cdot 10^{24}\ m^{-3}$

3.63. a) $L = p\Delta V = 0$ deoarece destinderea are loc în vid, în lipsa unei rezistențe, ceea ce face ca lucrul mecanic să fie nul. Cum și $Q = 0$, rezultă că $\Delta U = 0$.

b) $p(V_1 + V_2 + V_3) = (\nu_1 + \nu_3) RT = (p_1 V_1 / RT_1 + N_3 / N_A) RT$

T este temperatura de echilibru termic la amestecarea maselor de hidrogen cu temperaturile inițiale T_1 și T_3 sub volum constant.

$$\nu_1 C_v (T - T_1) = \nu_3 C_v (T_3 - T).$$

Se obține:

$$T = \frac{\dfrac{N_3}{N_A} \cdot T_3 + \dfrac{p_1 V_1}{R}}{\dfrac{N_3}{N_A} + \dfrac{p_1 V_1}{R T_1}} = 316{,}66\ K$$

$$p = \left(\frac{p_1 V_1}{R T_1} + \frac{N_3}{N_A} \right) \frac{RT}{V_1 + V_2 + V_3} = 613730\ Pa$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} (\nu_1 + \nu_3) RT - \frac{5}{2} \nu_1 RT_1 - \frac{5}{2} \nu_3 RT_3 \text{ sau}$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \left(\frac{p_1 V_1}{RT_1} + \frac{N_3}{N_A} \right) RT - \frac{5}{2} p_1 V_1 - \frac{5}{2} \frac{N_3}{N_A} RT_3 = 339{,}89\ J$$

3.64. a) Trecerea de la starea 1 la starea 2 fiind transformare izotermă (fig. 80), avem:

$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot V_1 / V_2 = 2p_1 = 2 \cdot 10^5\ Pa$

$V_2 = V_1/2 = (1/2) \cdot 10^{-2}\ m^3$; $T_2 = T_1 = 300\ K$

Transformarea 2–3 fiind izocoră, iar 3–1 adiabatică, avem:

$p_3 V_3^{\gamma} = p_3 V_2^{\gamma} = p_1 V_1^{\gamma} \Rightarrow p_3 = p_1 (V_1 / V_2)^{\gamma}$

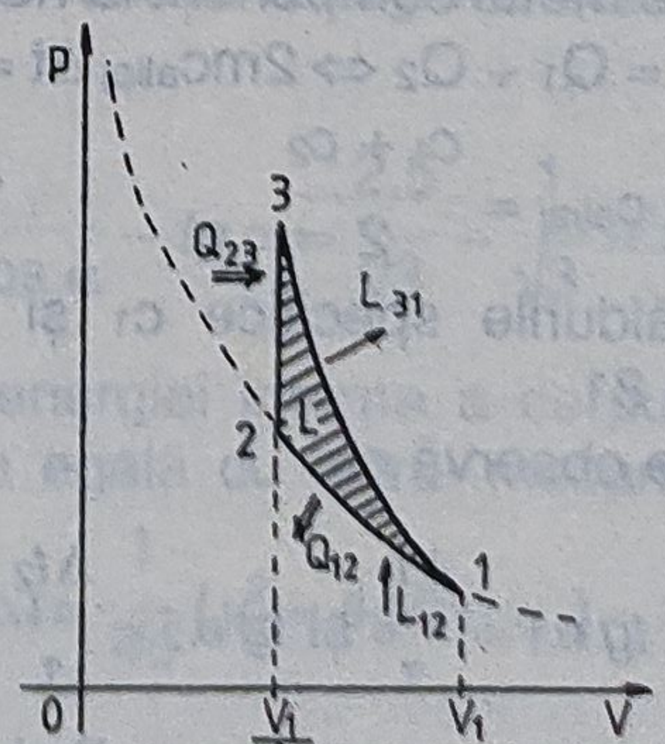


Fig. 80.

Sau, cu valorile numerice:

$p_3 = 10^5(2^{1,4})$ Pa = 268380 Pa

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \Rightarrow T_3 = T_2\frac{p_3}{p_2} = T_1\frac{p_1 \cdot 2^{1,4}}{2p_1} = \frac{2^{1,4}}{2}T_1 = 2^{0,4}T_1 = 390{,}57\ \text{K}$$

b) $L = L_{12} + L_{23} + L_{31} =$

$$= -p_1V_1\ln 2 + \frac{p_3V_2 - p_1V_1}{\gamma - 1} = p_1V_1\left(\frac{0{,}5\cdot 2^{1,4} - 1}{0{,}4} - 0{,}693\right) = 161{,}75\ \text{J}$$

$$\eta = \frac{L}{Q_{23}} = \frac{L}{\nu C_v(T_3 - T_1)} = \frac{p_1V_1\left(\frac{0{,}5\cdot 2^{1,4} - 1}{0{,}4} - \ln 2\right)}{\frac{p_1V_1}{RT_1}\cdot\frac{5}{2}R\left(T_1\frac{2^{1,4}}{2} - T_1\right)} = \frac{1{,}25\cdot 2^{1,4} - 2{,}5 - 0{,}693}{2{,}5\,(0{,}5\cdot 2^{1,4} - 1)}$$

$\eta = 20{,}2\ \%$

3.65. Din formula randamentului de încălzire cu serpentină:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_c} = \frac{(m_1c_1 + C)(\theta - t)}{m_{aer}c_{aer}(t_1 - t_2)} = \frac{(m_1c_1 + C)(\theta - t)}{S\,v\,\rho_{aer}\,c_{aer}\,\tau\,(t_1 - t_2)}$$

se obține timpul de încălzire $\tau = \dfrac{(m_1c_1 + C)(\theta - t)}{\eta\,S\,v\,\rho_{aer}c_{aer}(t_1 - t_2)} \approx 302{,}5$ min

Randamentul de încălzire a lichidului din reactor este:

$$\eta' = \frac{Q_{lichid}}{Q_{aer}} = \frac{m_1c_1(\theta - t_1)}{S\,v\,\rho_{aer}\,c_{aer}\,\tau\,(t_1 - t_2)} = \eta\frac{m_1c_1}{m_1c_1 + C} = 0{,}864 = 86{,}4\ \%$$

3.66. Căldura pe care o primește aliajul este suma căldurilor primite de fiecare metal component la ridicarea temperaturii cu Δt.

$Q = Q_1 + Q_2 \Leftrightarrow 2mc_{aliaj}\Delta t = mc_1\Delta t + mc_2\Delta t$

$$\Rightarrow c_{aliaj} = \frac{c_1 + c_2}{2}$$

Căldurile specifice c_1 și c_2 pot fi calculate cu ajutorul diagramelor din figura 81.

Se observă că:

$$tg\,\alpha_1 = \frac{\Delta t_1}{\tau} \text{ și } tg\,\alpha_2 = \frac{\Delta t_2}{\tau} \quad (1)$$

Cum sursa are puterea P și randamentul de încălzire este de sută la sută, avem:

$$P\tau = mc_1\Delta t \text{ și } P\tau = mc_2\Delta t \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) rezultă:

$$c_2 = c_1 \frac{tg\,\alpha_1}{tg\,\alpha_2} = \sqrt{3}\ c_1$$

Căldura specifică sensibilă a aliajului este:

$$c_{aliaj} = \frac{1}{2}(c_1 + \sqrt{3}\ c_1) = 1{,}365\ c_1$$

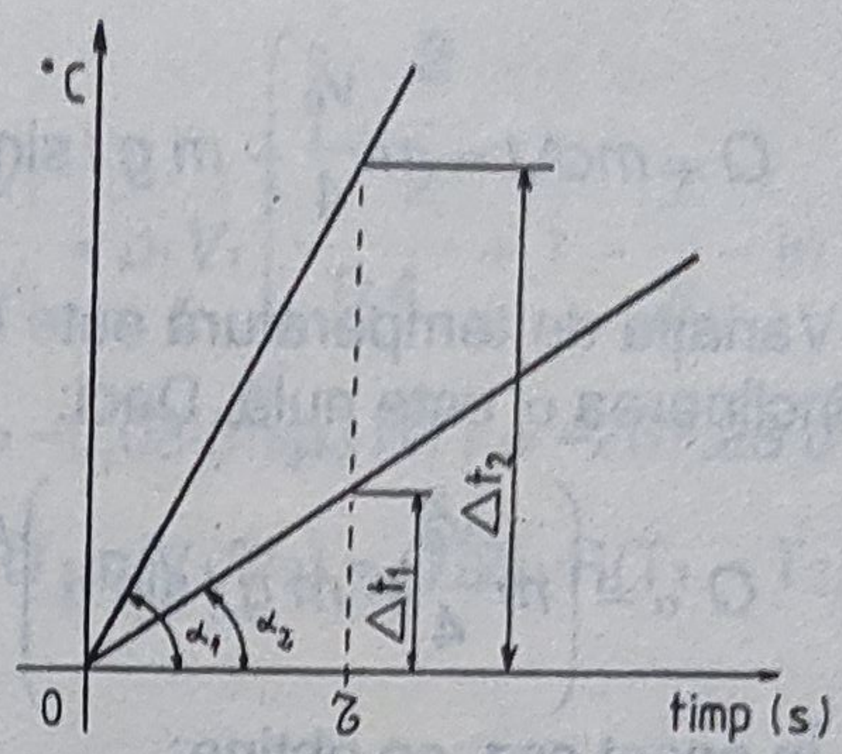


Fig. 81.

3.67. Fie m masa glontelui și M masa blocului. Din conservarea energiei în procesele mecanice și termice se poate scrie:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{m+M}{2}v^2 + \Delta U$$

ΔU este variația energiei interne a sistemului bloc–glonte, iar v este viteza sistemului imediat după ciocnire, ce se calculează din legea conservării impulsului la ciocnirea plastică:

$$mv_0 = (m + M)v$$

Cum $\Delta U = Q = Q_1 + Q_2 = (mc + Mc)(\theta - t)$, rezultă:

$$(m + M)c(\theta - t_1) = \frac{n}{n+1}\frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$\theta = \frac{1}{n+1}\left(\frac{n}{n+1}\cdot\frac{v_0^2}{2c} + t_1 + n\,t_2\right)$$

3.68. a) Lucrul mecanic de frecare este egal cu variația energiei mecanice a corpului, de unde:

$$\mu\, mg\, l\cos\alpha = \frac{mv_0^2}{4} - mg\, l\sin\alpha \Rightarrow \mu = \frac{v_0^2}{4g\, l\cos\alpha} - tg\,\alpha = \frac{2{,}5}{\sqrt{3}} - \frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}867$$

b) Din principiul I al termodinamicii, variația energiei interne a corpului la mișcarea cu frecare pe plan este tocmai căldura egală cu lucrul mecanic de frecare, adică $Q = |L_f|$ și $mc\Delta t = m\frac{v_0^2}{4} - mgl\sin\alpha \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{4c}(v_0^2 - 4gl\sin\alpha) = 10°C$

c) Căldura degajată prin frecare este:

$$Q = mc\Delta t = m\frac{v_0^2}{4} - mgl\sin\alpha$$

Variația de temperatură este minimă dacă derivata expresiei căldurii în raport cu înclinarea α este nulă. Deci:

$$Q'_\alpha = \left(m\frac{v_0^2}{4} - mgl\sin\alpha\right)' = -mgl\cos\alpha = 0 \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{2}$$

În acest caz, se obține:

$$mc\Delta t_1 = m\frac{v_0^2}{4} - mgl \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{(v_0^2 - 4gl)}{4c} = 7{,}5^\circ\,C$$

d) Din primul principiu al termodinamicii, avem:

$$c_p = c_v + \frac{p_0\Delta V}{m\Delta t}$$

Cum, din legea dilatării, $\Delta V = V_0\gamma\Delta t$ și $m = V_0\rho_0$, rezultă:

$$c_v = c_p - \frac{p_0\gamma}{\rho_0}$$

Cu datele numerice, se obține:

$$c_v = c - \frac{p_0\gamma}{\rho_0} = 200\,\frac{J}{kg\,grd} - \frac{101325\,Nm^{-2}\cdot 10^{-5}\,grd^{-1}}{8000\,kg\,m^{-3}} =$$

$$= \left(200 - \frac{1}{8000}\right)\frac{J}{kg\,grd} \approx 200\,\frac{J}{kg\,grd} \Rightarrow c_p \approx c_v = c$$

3.69. Transformarea ciclică a sistemului se vede în figura 82.

a) Starea (1): $p_1 = 3\cdot 10^5$ Pa; $T_1 = 300$ K;

$$V_1 = (m/\mu)\cdot RT_1 = 297\cdot 10^{-4}\ m^3$$

Starea (2): $V_2 = 2V_1 = 594\cdot 10^{-4}\ m^3$; $p_2 = p_1(V_1/V_2)^\gamma = 3\cdot 10^5(1/2)^{1,4}$ Pa $= 111781$ Pa

$$T_2 = T_1\,p_1V_1/p_2v_2 = 2T_1\,(V_1/V_2)^\gamma = 2(1/2)^{1,4}\cdot 300\ K = 223{,}56\ K$$

Starea (3): $V_3 = V_2\cdot T_1/T_2 = 2V_1\cdot T_1/T_2 = 2V_1\cdot 2^\gamma/2 = 797\cdot 10^{-4}\ m^3$

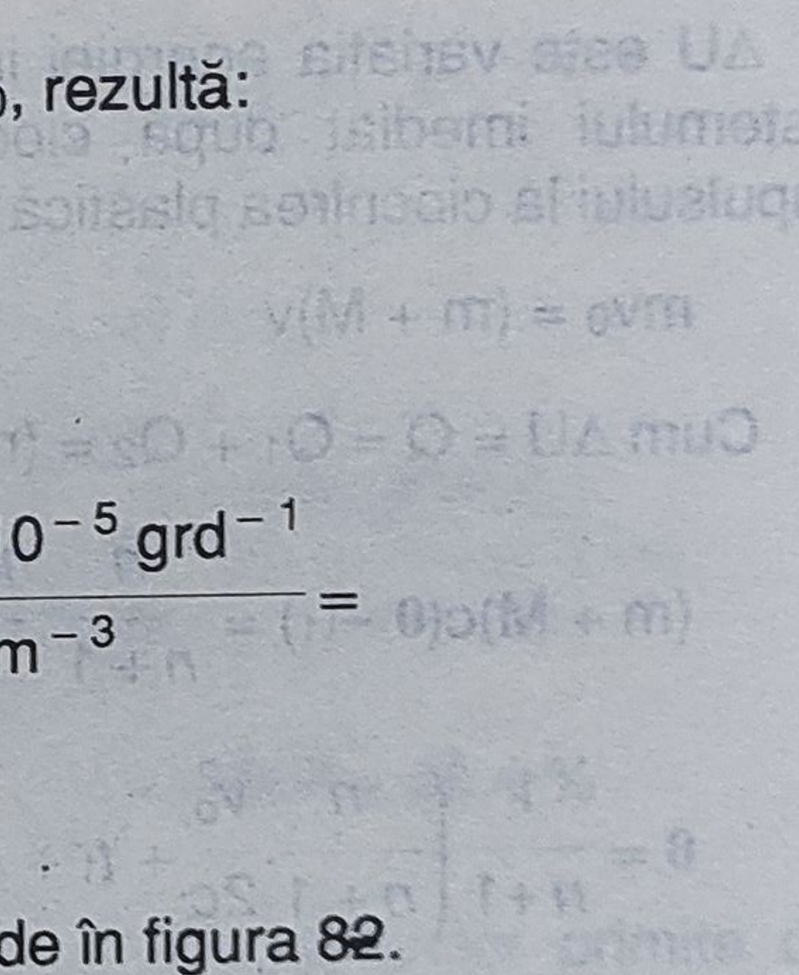


Fig. 82.

b) $L = L_{12} + L_{23} + L_{31}$ sau:

$$L=\frac{p_1V_1-p_2V_2}{\gamma-1}+p_2(V_3-V_2)+p_1V_1\ln\frac{V_1}{V_3}=p_1V_1\left(\frac{1-\frac{2}{2^\gamma}}{0,4}+1-\frac{2}{2^\gamma}-\ln 2^\gamma\right)$$

$$L=(m/\mu)\cdot RT_1\,(1,637-0,7452-0,9219)=-0,03\cdot(m/\mu)\cdot RT_1=-267,23\ \text{J}$$

$$Q=Q_{12}+Q_{23}+Q_{31}=0+\nu C_p(T_3-T_2)+\nu RT_1\ln(V_1/V_3)=(7/2)\nu R(T_1-T_2)+$$
$$+\nu RT_1\ln(V_1/V_3)$$

$$Q=\nu RT_1[(7/2)(1-2^{1-\gamma})-\ln 2^\gamma]=-268\ \text{J}$$

3.70. Din primul principiu al termodinamicii se obține relația:

$$c_p-c_v=\frac{R}{\mu}\Rightarrow\mu=\frac{R}{c_p-c_v}=\frac{8314\ \text{J kmol}^{-1}\,\text{K}^{-1}}{(912-652)\ \text{J kg}^{-1}\,\text{K}^{-1}}\approx 32\ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$C_p=\mu c_v=(i/2)\cdot R\Rightarrow i=2\mu c_v/R=5$$

3.71. Diagramele p–V ale transformărilor sunt prezentate în figura 83 și diagramele U–V, în figura 84.

a) Lucrul mecanic este dat de aria de sub diagramă. În cazul transformării izobare, $L_{izob}>0$ este cel mai mare și $L_{ad}>0$ este cel mai mic.

b) La dilatarea sub presiune constantă, $\Delta U>0$, la cea izotermă, $\Delta U=0$ și la cea adiabatică, $\Delta U<0$.

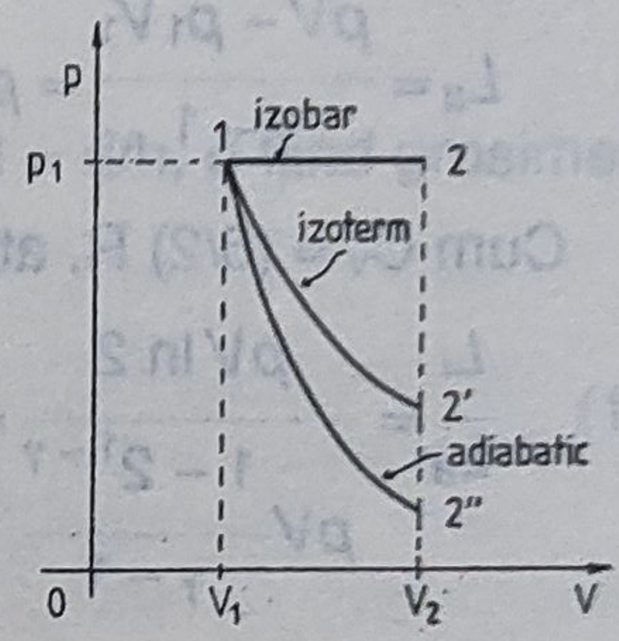


Fig. 83.

3.72. a) $\eta=\dfrac{T_1-T_2}{T_1}=\dfrac{300\ \text{K}}{600\ \text{K}}=50\%$

b) $Q_1=\dfrac{m}{\mu}RT_1\cdot\dfrac{p_1}{p_2}\ln\left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}=2,8\ \text{MJ}$

$Q_2=(1-\eta)\,Q_1=1,4\ \text{MJ}$

c) $L=1,4\ \text{MJ};\ \eta=L/Q_1=0,5=50\%$

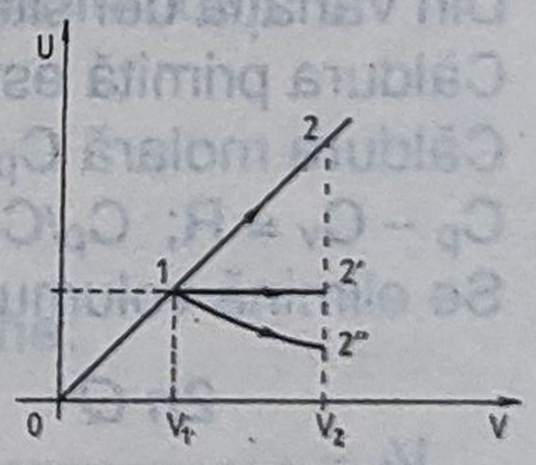


Fig. 84.

3.73. a) $L=(mg+p_0S)h-RT\ln\left(1+\dfrac{(mg+p_0S)h}{RT}\right)$

b) $L'=RT(1-\ln 2)=0,31\ RT$

3.74. a) $W_{ibf}=6$ cal; b) $Q_{if}=-43$ cal; c) $U_f=40$ cal;

d) $Q_{ib}=18$ cal; $Q_{bf}=18$ cal.

3.75. a) Se folosește relația dintre presiune și volum în cadrul celor două transformări și se stabilește ecuația tangentei în punctul M, comun celor două curbe.

În transformarea izotermă, prin diferențiere, se obține din:

$$pV = \text{const.},\ pdV + Vdp = 0 \Rightarrow dp/dV = -p/V \qquad (1)$$

În cazul transformării adiabatice, prin diferențiere se obține din:

$$pV^{\gamma} = \text{const.},\ V^{\gamma}dp + p\gamma V^{\gamma-1}dV = 0 \Rightarrow dp/dV = -\gamma \cdot p/V \qquad (2)$$

Relațiile (1) și (2) arată că, în transformarea adiabatică, presiunea variază de γ ori mai mult decât în cazul transformării izoterme și, deci, tangenta la curbă în punctul M este mai abruptă decât tangenta în același punct la curba transformării izoterme. Deci, curba (1) corespunde transformării izoterme și curba (2) transformării adiabatice.

b) Lucrul mecanic în cazul transformării izoterme este:

$$L_i = pV \ln (2V/V) = pV \ln 2$$

În cazul transformării adiabatice, lucrul mecanic este:

$$L_a = \frac{pV - p_1V_1}{\gamma - 1} = pV\frac{1 - 2^{1-\gamma}}{\gamma - 1}$$

Cum $C_v = (5/2)\ R$, atunci $C_p = (7/2)\ R$ și $\gamma = C_p/C_v = 7/5 = 1{,}4$.

$$\frac{L_i}{L_a} = \frac{pV \ln 2}{pV\dfrac{1 - 2^{1-\gamma}}{\gamma - 1}} = 1{,}4 \Rightarrow L_i > L_a$$

3.76. Din legea transformării izobare avem: $V/T = V'/T' \Rightarrow V' = V\,T'/T$ (1)
Din variația densității cu temperatura: $T' = nT$.
Căldura primită este: $Q = \nu C_p(T' - T) = \nu C_pT(n - 1) = (pV/R)\cdot C_p(n-1)$
Căldura molară C_p se calculează din relațiile:
$C_p - C_v = R$; $C_p/C_v = \gamma$ Se obține valoarea $C_p = (7/2)\cdot R$
Se elimină volumul V din relația (1) și expresia căldurii și se obține

$$V_1 = \frac{2n\,Q}{7(n-1)\,p} = \frac{4\cdot 84\ \text{J}}{7\cdot 3\cdot 8\cdot 10^6\ \dfrac{\text{N}}{\text{m}^2}} \approx 4\cdot 10^{-6}\ \text{m}^3 = 4\ \text{cm}^3$$

3.77. a) $p' = p\,(1 - \Delta\rho/\rho)$; b) $L = R\Delta U/C_v$

3.78. a) Ciclul de transformări suferite de gaz în sistemul de axe p–V, se vede în figura 85.

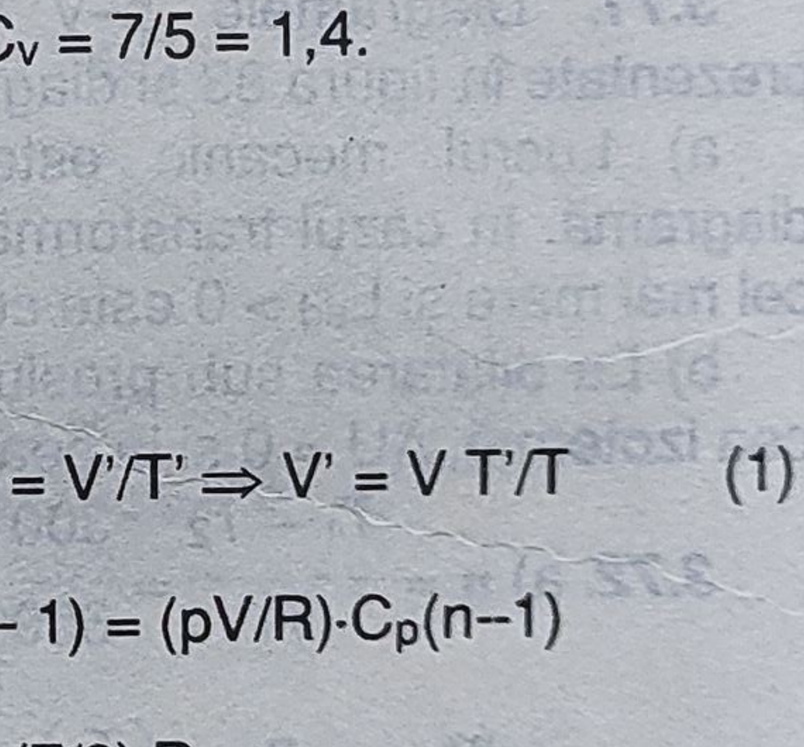


Fig. 85.

Lucrul mecanic:

$$L = L_{23} + L_{41} = p_2(V_3 - V_2) + p_1(V_1 - V_4) = (p_2 - p_1)(V_4 - V_1)$$

Din legile de transformare 1–2 și 2–3

avem:

$$p_1/T_1 = p_2/T_2 \Rightarrow p_2 = 2p_1 \text{ și } V_2/T_2 = V_3/T_3 \Rightarrow V_3 = V_4 = 3V_1$$

Deci: $L = 2p_1V_1 = 2\nu RT_1 \approx 2 \cdot 10^4$ J

b) $Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = \nu C_v(T_2 - T_1) + \nu C_p(T_3 - T_2) + \nu C_v(T_4 - T_3) + \nu C_p(T_1 - T_4) \approx 2 \cdot 10^4$ J

c) $\eta = \dfrac{L}{Q_{12} + Q_{23}} = \dfrac{L}{4600\,\nu R} = 17{,}4\,\%$

3.79. $\dfrac{Q}{\Delta t} = \dfrac{1}{\Delta t}\nu C_p \Delta T = \dfrac{\nu}{\Delta t}\cdot\dfrac{5}{2} R\Delta T = \dfrac{1}{\Delta t}\cdot\dfrac{5}{2} p\Delta V = \dfrac{5}{2}\left(p_o + \dfrac{mg}{S} + \dfrac{F_f}{S}\right) Sv =$

$= \dfrac{5}{2}(p_0S + mg + F_f)v$

3.80. Căldura provine din lucrul mecanic folosit la perforare:

$$L = F \cdot 2\pi\, r\, N = 2\pi\, N\, \mathfrak{M}$$

unde N este numărul de rotații ale burghiului, adică N = d/h, d fiind grosimea plăcii.

Rezultă:

$$0{,}9 \cdot 2\pi \cdot (d/h) \cdot \mathfrak{M} = mc\Delta t \qquad (1)$$

Masa plăcii este:

$$m = V\rho = Ld\rho$$

Căldura specifică a plăcii se calculează din ecuația calorimetrică:

$$mc(t_1 - \theta) = mc_a(\theta - t_2) \Rightarrow c = c_a \frac{\theta - t_2}{t_1 - \theta}$$

Înlocuind în relația (1) căldura specifică și masa, se obține:

$$\Delta t = \frac{0{,}9 \cdot 2\pi\, \mathfrak{M}\,(t_1 - \theta)}{h\,L\,l\rho\,c_a(\theta - t_2)} = 3{,}95^o\,C$$

3.81. a) Din figura 86 se vede că:

$p_1V_1 = p_3V_3 = \nu RT_1$ și $L = p_3(V_3 - V_1) = p_3V_3(1 - V_1/V_3) = p_3V_3(1 - p_3/p_1) = \nu RT_1(1 - 1/n)$

Deci: $T_1 = \dfrac{L}{\nu R}\cdot\dfrac{n}{n-1} = 300$ K

b) $Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = \nu C_v(T_2 - T_1) + \nu C_p(T_3 - T_2) + \nu RT_1 \ln(V_1/V_3)$

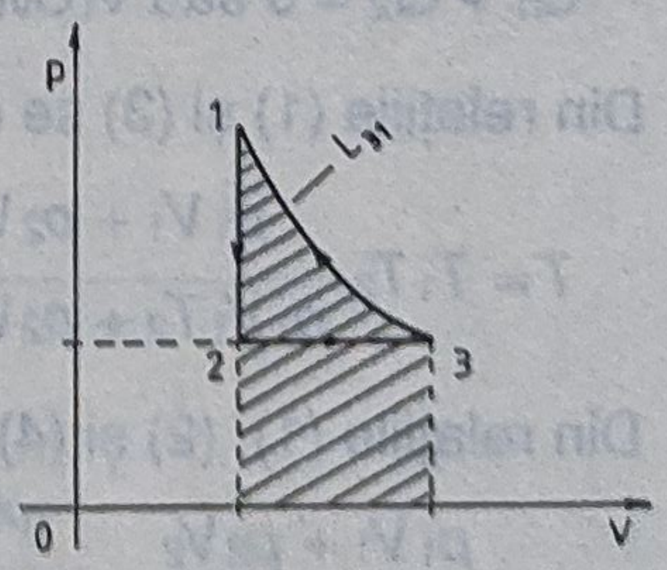


Fig. 86.

Din legea transformării izocore rezultă

$T_2 = T_1/n$ și

$$Q = \nu C_v(T_1/n - T_1) + \nu C_p(T_1 - T_1/n) - \nu RT_1 \ln n = \nu RT_1 (1 - 1/n - \ln n) =$$
$$= -179{,}83 \text{ J}$$

c) $L_{31} = \nu RT_1 \ln (p_3/p_1) = -\nu RT_1 \ln n = -1011{,}4$ J.

3.82. a) $L = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV = \int_{V_1}^{V_2} aV\,dV = \frac{a}{2}(V_2^2 - V_1^2) = \frac{3}{2} a V_1^2 = 3 \cdot 10^5$ J

b) $\Delta U = \nu C_v \Delta T = \nu C_v(T_2 - T_1) = (5/2)\nu R(T_2 - T_1) = (5/2)(p_2V_2 - p_1V_1) =$
$= (5/2) \cdot a(V_2^2 - V_1^2) = 15 \cdot 10^5$ J

c) $Q = \Delta U + L = 18 \cdot 10^5$ J

d) $Q = \nu C \Delta T$, $\nu \Delta T = \Delta U / C_v$

$$C = \frac{Q}{\nu \Delta T} = \frac{\Delta U + L}{\Delta U} C_v = \frac{6}{S} C_v = 3R = 3 \cdot 8{,}314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} = 24{,}942 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

3.83. Izoterm: $Q_{izot} = \nu C_{izot} \Delta T \Rightarrow C_{izot} = Q/\nu \Delta T = Q/\nu \cdot 0 = \infty$

Izobar: $Q_{izobar} = \Delta U + L = (i/2)\ \nu R \Delta T + p \Delta V = (i/2)\nu R \Delta T + \nu R \Delta T =$
$= \frac{i+2}{2} \cdot (\nu R \Delta T)$

$$\nu C_p \Delta T = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T \Rightarrow C_p = \frac{i+2}{2} R$$

Izocor: $Q_{izocor} = \Delta U$; $\nu C_v \Delta T = (i/2)\nu R \Delta T \Rightarrow C_v = (i/2)R$

Adiabatic: $0 = \Delta U + L \Rightarrow C_{ad} = 0/\nu \Delta T = 0$

3.84. După deblocarea pistonului, gazele din compartimente suferă transformări generale. Pistonul rămâne în echilibru când gazele din cele două compartimente au aceeași temperatură, T, și aceeași presiune, p.

$$\nu_1 R = p_1V_1/T_1 = pV_1'/T;\ \nu_2 R = p_2V_2/T_2 = pV_2'/T \qquad (1)$$

Cum volumul total nu se schimbă:

$$V_1 + V_2 = V_1' + V_2' \qquad (2)$$

Schimbul de căldură cu exteriorul este nul, deci:

$$Q_1 + Q_2 = 0 \text{ sau } \nu_1 C_v(T - T_1) + \nu_2 C_v(T - T_2) = 0 \qquad (3)$$

Din relațiile (1) și (3) se obține temperatura finală:

$$T = T_1 T_2 \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1} = 311 \text{ K} \qquad (4)$$

Din relațiile (1), (2) și (4) se obține presiunea finală, p:

$$p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} = 2{,}25 \text{ atm}$$

3.85. Operația 1-a: $|Q_{1ced}| = Q_{1abs} \Rightarrow \theta_1 = (1/2)\, t_1$
Operația a 2-a: $|Q_{2ced}| = Q_{2abs} \Rightarrow \theta_2 = (3/4)\, t_1$
Operația a 3-a: $|Q_{3ced}| = Q_{3abs} \Rightarrow \theta_3 = (7/8)\, t_1$

Operația a n-a: $\theta_n = \dfrac{2^n - 1}{2^n}\, t_1$

Pentru n = 4 și $t_2 = 64$, $\theta_4 = 60°C$.

3.86. a) Lucrul mecanic în destinderea adiabatică este

$$L = -\Delta U = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1} \qquad (1)$$

Ecuația transformării adiabatice este, $p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}$ (2)

Din relațiile (1) și (2) și din condiția dată, $V_2 = 2V_1$, se obține:

$$L = p_1 V_1 \frac{1 - 2^{1-\gamma}}{\gamma - 1} = \nu R T_1 \frac{1 - 2^{1-\gamma}}{\gamma - 1} \approx 3930 \text{ J}$$

b) $L = -\Delta U = \nu C_v (T_1 - T_2) = \dfrac{\nu R}{\gamma - 1}(T_1 - T_2) = \nu R T_1 \dfrac{1 - 2^{1-\gamma}}{\gamma - 1}$

de unde $T_2 = T_1 / 2^{\gamma - 1} = 295{,}5$ K

3.87. a) $p_1 = p \dfrac{\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} = \dfrac{14}{3} \cdot 10^4$ Pa; $p_2 = p \dfrac{\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} = \dfrac{16}{3} \cdot 10^4$ Pa

b) $T_2 = T_1 \left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma - 1} = T_1\, n^{(1-\gamma)} = 225$ K

3.88. a) $T_1 = \dfrac{p_1 V_1}{\nu R} = 296$ K; $T_2 = \dfrac{p_2 V_1}{\nu R} = 444$ K; $T_3 = \dfrac{p_2 V_4}{\nu R} = 888$ K;

$T_4 = \dfrac{p_1 V_4}{\nu R} = 592$ K

b) $\Delta U_{23} = \nu C_V (T_3 - T_2) = \dfrac{p_2 (V_4 - V_1)}{\gamma - 1} = 9225$ J

$L = p_1 (V_1 - V_4) = -p_1 V_1 = -2460$ J.

3.89. a) $Q = \dfrac{5}{2} \nu R \left(\dfrac{\mu v_T^2}{3R} - \dfrac{3 p_1 N_A}{n \mu}\right) = 4676{,}63$ J

b) $p_1 = \dfrac{1}{3} n m_0 v_T^2 = \dfrac{1}{3} \rho v_T^2 \Rightarrow \rho = \mu \dfrac{n}{N_A} = 1{,}116 \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

3.90. $\Delta t = Q/(mc)$, unde căldura provine din lucrul mecanic de frecare:
$L = -\mu mg \cdot s_{max} \cdot \cos\alpha$.

Din legile mișcării: $s = -\frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}$

Spațiul străbătut de corp până la oprire depinde de unghiul de înclinare al planului și devine maxim când derivata lui în raport cu α se anulează, deci:

$$\frac{ds}{d\alpha} = -(\cos\alpha - \mu\sin\alpha) = 0 \Rightarrow \text{ctg}\,\alpha = \mu = \frac{\sqrt{3}}{3} \Rightarrow \alpha = 30^\circ$$

$$\text{de unde: } \Delta t = \frac{0{,}8\,\mu\, v_0^2 \cos\alpha}{2c(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)} = 0{,}2^\circ$$

3.91. a) În timpul căderii, bila nu a primit căldură din exterior.

b) În cădere, câmpul gravitațional, prin forța de greutate, a transmis bilei lucru mecanic egal și de semn contrar cu variația energiei potențiale gravitaționale, având ca efect variația energiei interne.

c) Variația energiei interne se poate calcula prin aplicarea legii transformării și conservării energiei, la înălțimile h_1 și h_2:

$$mgh_1 + U_1 = mgh_2 + U_2 \Rightarrow \Delta U = U_2 - U_1 = mg(h_1 - h_2)$$

Prin aplicarea primului principiu al termodinamicii avem:

$$0 = \Delta U + L \text{ și } L = -\Delta E_p = mg(h_1 - h_2)$$

Întrucât sistemul (bila) primește lucru mecanic, în baza convenției valoarea lucrului mecanic este negativă, deci:

$$\Delta U - mg(h_1 - h_2) = 0;\ \Delta U = mg(h_1 - h_2)$$

Cum $\Delta U = mc\Delta T$, avem:

$$mc\Delta T = mg(h_2 - h_1) \Rightarrow \Delta T = \frac{g\Delta h}{c} = \frac{9{,}8\ \frac{m}{s^2} \cdot 19\ m}{460\ \frac{J}{kg\,K}} \approx 0{,}4\ K$$

4. Principiul al doilea al termodinamicii

4.2. a) $P = 161{,}06$ kW; b) $\mathfrak{M} = 10262{,}5$ Nm

4.3. $P = 898{,}2$ kW

4.4. $\eta = 20{,}9\%$; $m = 297{,}3$ kg

4.5. a) $\eta_r = 15{,}12\%$; b) $W = 434040099$ J; c) $P = 126{,}7$ kW ≈ 172 CP

4.6. $t_2 = 25{,}3^{\circ}C$

4.7. a) P = 204 CP = 150,14 kW; b) m = 2808 kg/h; 18,72 kg/kWh; c) η = = 7,3%; d) η_t = 31%

4.8. a) p = 1900 at; b) F = 52214,4 N; c) η = 36,2%

4.9. a) η = 48,4%; b) F = 4800 N; c) $P \approx 70\% P_{max}$

4.10. a) m = 1,296 kg; b) m_1 = 127 kg

4.11. $Q = (m/\mu)\cdot RT\cdot \ln(p_1/p_2) = -10380$ J; $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{m}{\mu} R \ln \frac{p_1}{p_2} = -34{,}6 \frac{J}{K}$

4.12. 1° a) Q_1 = 496860 J; b) Q_2 = 699510 J; 2° c_p = 985 J/kg·grd

4.13. a) t = 165°C; b) $Q \approx 447{,}7$ J

4.14. a) V_c = 60 l; b) η = 16,9%; c) $Q_{ced} = -118\cdot 10^4$ J/s

4.16. a) $V_{min} = V_A = 2L/p_{max}$ = = 20 l; b) $Q = -(17/2)\cdot L\cdot$ $\cdot(10\text{-ciclu/s})\cdot 3600\text{s} = -3060$ MJ

c) $\eta_r = \frac{L}{Q_{AB} + Q_{BC}}$ = = 10,52%; $\eta_c = 1 - T_A/T_C$ = = 75%; d) vezi figura 87 (a și b); c_p = 1077,48 J/kg·K, μ = = 28,025 g/mol.

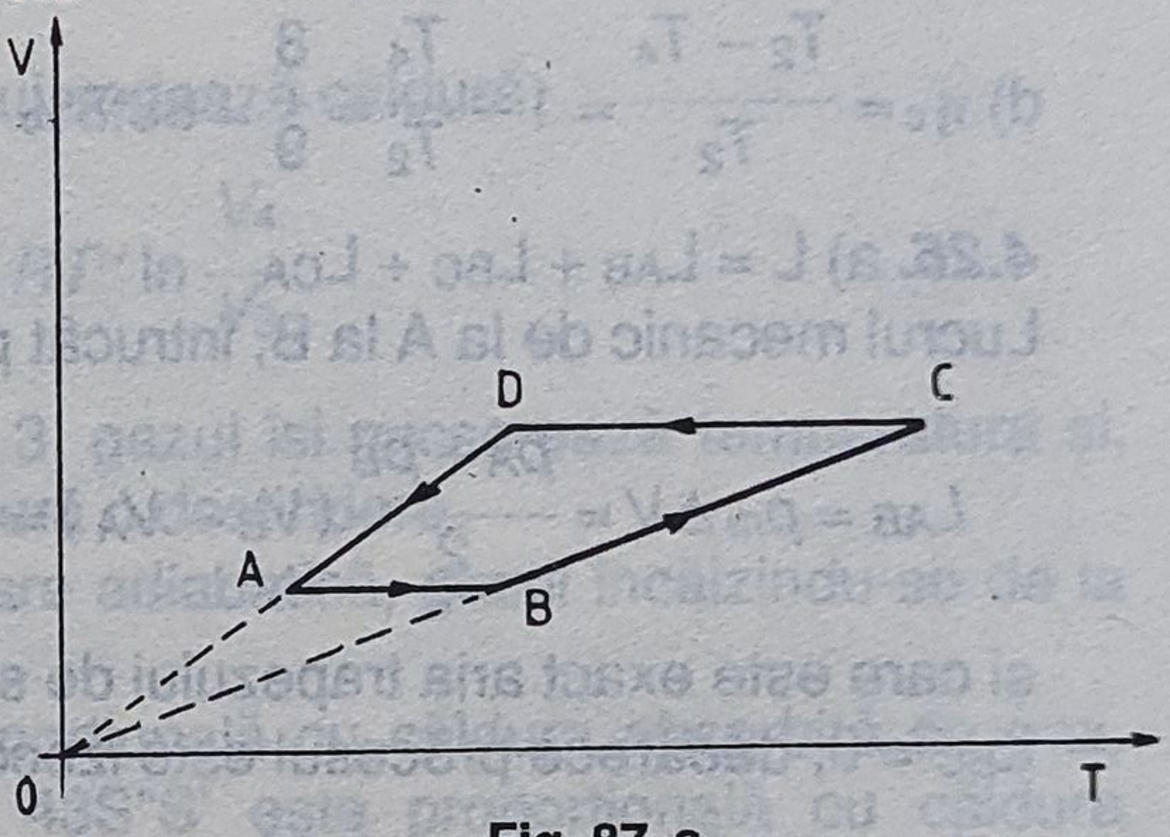


Fig. 87. a

4.17. ΔS = +3,26 J/K

4.18. a) $v_2 \cong 600 \frac{m}{s}$; b) $F \cong 60$ N; c) $\eta = 52{,}45\%$

4.19. a) $\Delta U = 52$ KJ; b) $L = 52$ KJ; c) $k = 1{,}8$; d) $\Delta S = 0$

4.20. a) $L = \frac{m}{\mu} RT\left(\ln a - \frac{a-1}{a}\right) = 1{,}28$ MJ

$$\eta = \frac{1}{\ln a - \frac{1}{a}(a-1)} = 13\,\%$$
$$\ln a + (a-1)\frac{}{(\gamma-1)a}$$

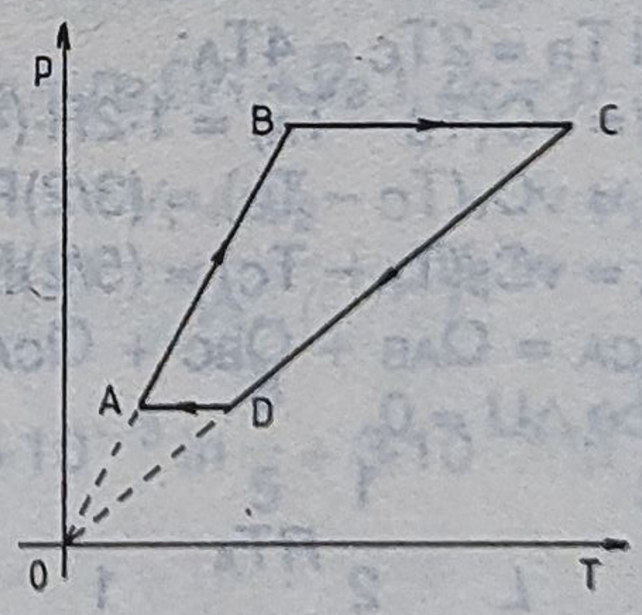


Fig. 87. b

b) $\eta/\eta_0 = 0{,}27$

4.21. $L = \eta\eta_t Q_{ardere} = \eta mq(1 - T_2/T_1) \approx 0{,}88$ GJ

4.22. a) η_1 = 47%; η_2 = 66%; $\Delta\eta$ = 19%.

b) consum specific$_1$ = $236\cdot 10^{-5}$ l/kW·km; consum specific c_2 = = $173\cdot 10^{-5}$ l/kW·km

4.23. a) p_2 = 6 atm, T_2 = 273 K, V_2 = 0,667 m^3; L_{12} = −702366 J; $Q_{12} = L_{12}$, $\Delta U_{12} = 0$

b) p_3 = 6 atm; V_3 = 4 m^3, T_3 = 1638 K; L_{23} = 1960 kJ, Q_{23} = 7661940 J

$\Delta U_{23} = 5701940$ J; c) $L_{31} = 0$, $Q_{31} = \Delta U_{31} = -5701940$ J

4.24. a) $\eta_t = P \cdot T/(\eta_1 \eta_2 mq) = 0{,}296 = 29{,}6\%$; $T_2 = 384{,}5$ K

4.25. a) $P = L/t = L/\tau = (4/3) \cdot p_1 V_1/\tau = 4 \cdot 10^5$ W = 400 kW

b) $$\eta = \frac{L}{Q_{12} + Q_{41}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{p_1 V_1}{\nu C_p (T_2 - T_1) + \nu C_v (T_4 - T_3)} = 0{,}25$$

c) $$\eta = L/mq \Rightarrow m = \frac{L}{\eta q} = \frac{16}{3} \cdot \frac{p_1 V_1}{q} = 0{,}355 \frac{g}{\text{ciclu}}$$

d) $$\eta_c = \frac{T_2 - T_4}{T_2} = 1 - \frac{T_4}{T_2} = \frac{8}{9} = 88{,}8\%$$

4.26. a) $L = L_{AB} + L_{BC} + L_{CA}$

Lucrul mecanic de la A la B, întrucât presiunea variază liniar, este:

$$L_{AB} = p_m \Delta V = \frac{p_A + p_B}{2} (V_B - V_A) = \frac{3}{2} p_A V_A \quad (1)$$

și care este exact aria trapezului de sub diagramă.

$L_{BC} = 0$, deoarece procesul este izocor.

$$L_{CA} = p_A(V_A - V_B) = -p_A V_A \quad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) rezultă $L = (1/2) \cdot p_A V_A = (1/2) R T_A$.

b) Din legile de transformare izocoră și izobară rezultă temperaturile $T_C = 2T_A$ și $T_B = 2T_C = 4T_A$:

$Q_{AB} = \nu C(T_B - T_A) = 1 \cdot 2R \cdot (4T_A - T_A) = 6RT_A$

$Q_{BC} = \nu C_v(T_C - T_B) = (3/2)R(2T_A - 4\,T_A) = -3RT_A$

$Q_{CA} = \nu C_p(T_A - T_C) = (5/2)R(T_A - 2T_A) = -(5/2)RT_A$

$Q_{ABCA} = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = 6RT_A - 3RT_A - (5/2)RT_A = (1/2) \cdot RT_A = L_{ABCA}$

deoarece $\Delta U = 0$

c) $$\eta = \frac{L}{Q_{AB}} = \frac{\frac{1}{2} RT_A}{6\,RT_A} = \frac{1}{12} = 8{,}33\ \%$$

d) La parcurgerea în sens invers, ciclul corespunde unei mașini frigorifice. Lucrul mecanic $L = -(1/2) \cdot p_A V_A$.

Gazul primește căldură AC și BC și cedează pe AB, deci se schimbă semnele:

$Q_{AC} = (5R/2) \cdot (T_C - T_A) = (5/2) \cdot RT_A$; $Q_{CB} = (3/2)R \cdot (T_B - T_C) = 3RT_A$;

$Q_{primit} = Q_{AC} + Q_{CB} = (11/2) \cdot RT_A$; cum $|Q_{AB}| > Q_{primit}$, ciclul corespunde unei

mașini frigorifice. Mașina absoarbe lucru mecanic și cedează căldură:

$$Q_{abs} - |Q_{ced}| = -L \text{ sau } Q_{abs} + Q_{ced} = L$$

4.27. La descrierea ciclului, gazul trece prin două transformări izoterme, 1–2 și 3–4, și două transformări adiabatice, 2–3 și 4–1. Deoarece $dS = dQ/T = 0 \Rightarrow dQ = 0$, deci nu are loc un transfer de căldură între gaz și exterior.

În cazul de față avem de a face cu un ciclu Carnot.

În transformarea izotermă 1–2, entropia gazului crește:

$$\Delta S_{12} = \int \frac{dQ}{T} = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ și } Q_1 = \nu RT' \ln \frac{V_2}{V_1} > 0$$

și, analog, în transformarea 3–4, gazul cedează căldură:

$$\Delta S_{34} = \int \frac{dQ}{T} = \nu R \ln \frac{V_4}{V_3} \text{ și } Q_2 = \nu RT'' \ln \frac{V_4}{V_3}$$

În trecerea de la starea 2 la starea 3, gazul își micșorează temperatura și, transformarea fiind adiabatică, gazul suferă o destindere.

Transformarea 4–1 este o comprimare adiabatică, gazul încălzindu-se de la temperatura T" la temperatura T'.

Aria dreptunghiului 12S"S' este proporțională cu căldura absorbită de gaz, T'(S"–S') > 0, iar aria dreptunghiului 43S"S' este proporțională cu căldura cedată, T"(S'–S") <0.

Aria ciclului 12341 este proporțională cu lucrul mecanic util al mașinii termice care funcționează după un ciclu Carnot: $L = Q_1 - |Q_2|$.

4.28. a) $pV_1 = p_1(V_1 + V_2) \Rightarrow p_1 = p\frac{V_1}{V_1 + V_2}$; $pV_2 = p_2(V_1 + V_2)$; $p_2 = p\frac{V_2}{V_1 + V_2}$

b) $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \int \frac{dQ_1}{T} + \int \frac{dQ_2}{T} = \frac{1}{T}\left(pV_1 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + pV_2 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2}\right) =$

$$= \frac{p}{T}\left(V_1 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + V_2 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2}\right) = \frac{10^5 \text{ N m}^{-2}}{300 \text{ K}}\left(5 \cdot 10^{-3} \ln \frac{8}{5} + 3 \cdot 10^{-3} \ln \frac{8}{3}\right) =$$

$$= \frac{1}{3 \text{ K}}\left(5 \ln \frac{8}{5} + 3 \ln \frac{8}{3}\right) \text{J} = 1{,}8 \frac{\text{J}}{\text{grd}}$$

4.29. $\eta = \Delta T/T_1 = L/Q_1 = P\tau/Q_1 \Rightarrow Q_1 = P\tau \cdot T_1/\Delta T$ și $\Delta S = Q_1/T_1 = P\tau/\Delta T = 6 \text{ J/K}$

$$v_T = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3R\Delta T}{\eta\mu}} = 1116 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.30. a) $T_1 = T_2 + L_{ad}/(\nu C_v) = 450 \text{ K}$

b) $L = (\eta/1-\eta)|Q_2| = 1000 \text{ J}$

4.31. a) $C_v = L/\nu\Delta T = 24{,}93 \text{ J/mol·K}$; $\gamma = 1 + R/C_v = 4/3$

b) $\Delta S = Q/T_1 = (\nu R T_1/T_1)\ \ln(p_1/p_2) \Rightarrow \ln(p_1/p_2) = \Delta S/(\nu R) = 1 \Rightarrow p_1 = e p_2 \approx$
≈ 1305 kPa

$$T_1^{\gamma}/p_2^{\gamma-1} = T_2/p_3^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{p_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - p_3^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{p_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

$$\Rightarrow T_1 = \Delta T \frac{p_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{p_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - p_3^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = 600\ \text{K}$$

4.32. a) $\Delta S = \Delta S_{topire} + \Delta S_{apă} + \Delta S_{vap}$

$$\Delta S = \frac{m\lambda_t}{T_o} + m \ln \frac{T}{T_o} + \frac{m\lambda_v}{T} = 8560{,}2\ \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

b) Variația energiei interne se obține din ecuația principiului întâi al termodinamicii:

$$\Delta U = Q - p\Delta V = m(\lambda_t + c\Delta T + \lambda_v) - p_0(V_v - V_i) \approx m(\lambda_t + c\Delta T + \lambda_v) -$$
$$- (m/\mu)RT = 2915381\ \text{J}$$

c) $\eta = \frac{Q_u}{Q_c} = \frac{m(\lambda_t + c\Delta T + \lambda_v)}{m_c q} = 1 - \frac{T_o}{T}$, de unde:

$$m_c = \frac{m(\lambda_t + c\Delta T + \lambda_v)\,T}{q(T - T_o)} = 1{,}119\ \text{kg}$$

5. Dilatarea corpurilor. Termometrie

5.10. $\Delta l = l_0 \alpha (t_2 - t_1) = 0{,}0252$ m

5.11. $F = \frac{G}{2} \cdot \frac{l_o(1 + \alpha t)}{\sqrt{l_o^2(1 + \alpha t)^2 - 4a^2}}$

5.12. $t = \frac{l_{o1} - l_{o2}}{l_{o2}\alpha_2 - l_{o1}\alpha_1} = 672{,}04^{\circ}\,\text{C}$

5.13. $r = 5{,}003$ cm

5.14. a) $\beta = \text{arc}\ tg \frac{P l_o t(\alpha_1 - \alpha_2)}{G h}$

b) $P_1 = \dfrac{P \cdot t(\alpha_1 - \alpha_2)}{1 + \alpha_2 t}$

5.15. $\Delta l = \dfrac{l_1}{1 + \alpha t_1} \alpha \cdot \dfrac{Q}{S_1 l_1 \rho_o c}(1 + 3\alpha t_1) = 2{,}2 \text{ cm}$

$\Delta S = \dfrac{S_1}{1 + 2\alpha t_1} 2\alpha \cdot \dfrac{Q}{S_1 l_1 \rho_o c}(1 + 3\alpha t_1) \approx 0{,}22 \text{ cm}^2$

5.16. $Q = S_0 \rho_0 c \cdot \Delta l/\alpha = 59774 \text{ J}$; $P = \dfrac{S_o \rho_o c \Delta l}{\eta \tau \alpha} = 622{,}64 \text{ W}$

5.17. $\Delta t = \Delta S/(2S_0\alpha) = 294{,}1^\circ\text{C}$; $Q = V_0 \rho_0 c \cdot \Delta S/(2S_0\alpha) = 19{,}68 \text{ MJ}$

5.18. $l_{Sn} = 3 \text{ m}$; $l_{Fe} = 2 \text{ m}$

5.19. $\Delta t = \mu mg/(E\alpha S)_ = 133^\circ\text{C}$

5.20. $\beta = \dfrac{180^o}{\pi} \cdot \dfrac{l_o \alpha (t_2 - t_1)}{r} \cong 5^o\, 24'\, 50''$

5.21. $\sigma = E\alpha\Delta t = 16{,}8 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$; $F = ES\alpha\Delta t = 84 \cdot 10^4 \text{ N}$

5.25. $\Delta V_{Hg} = V_{0s} t(\gamma_{Hg} - 3\alpha_s) - V_{0Fe} \rho_{0Fe}/\rho_{0Hg} = 0{,}9565 \text{ cm}^3$

5.26. $Q = 270479{,}44 \text{ J}$

5.27. $\gamma_{Hg} = \dfrac{\Delta V + 3V_o \alpha_s t}{V_o t} = 18 \cdot 10^{-5} \text{ grd}^{-1}$

5.28. $V_{0(\text{apă})} = 497{,}31 \text{ cm}^3$; $V_{0(\text{eter})} = 477{,}1 \text{ cm}^3$

$\Delta V/V_0(\text{apă}) = 0{,}0054$; $\Delta V/V_0\,(\text{eter}) = 0{,}048$

5.29. $m = 2{,}3 \text{ g}$

5.30. $85\, v[1 + (t - 15)\gamma] = v(t - 25)$; v = volumul unei diviziuni; $t = 111{,}3^\circ\text{C}$

5.31. $0{,}573\, h \dfrac{1 + \gamma_{Hg} t}{1 + 2\alpha_{Fe} t} = 0{,}582\, h$

5.32. $m_1 = 46{,}6 \text{ g}$; $m_2 \approx 42{,}71 \text{ g}$

5.36. $\rho = \dfrac{\rho_o}{1 + 3\alpha t} = 7635 \text{ kg/m}^3$

5.37. $\rho = \dfrac{m}{V} \dfrac{1}{1 + \gamma t} = 0{,}8089 \text{ g/cm}^3$

5.38. $m = \dfrac{V \rho_o p\, T_o}{p_o} \left(\dfrac{1}{T_2} - \dfrac{1}{T_1} \right) = 1{,}034 \text{ kg}$

5.39. $\theta = 28{,}2^\circ\text{C}$, $V = 1{,}001 \text{ dm}^3$; $\rho_{Fe} = 7{,}814 \text{ g/cm}^3$

5.40. $t = \dfrac{h - h_o}{h_o \gamma} = \dfrac{\Delta h}{h_o \gamma} = 50^o \text{ C}$

5.41. 270°F; 120°R; -360°F; -160°R; 423,15 K; 73,15 K

5.42. $83{,}33^\circ\text{C}$; $66{,}66^\circ\text{R}$

5.43. $\frac{l}{l_1} = \frac{\gamma - 3\alpha}{\gamma_1 - 3\alpha}$

5.44. 50°C; 40°R.

5.45. $x = n\frac{\gamma - \gamma_1}{1 + \gamma t} = 62{,}6$ diviziuni

5.46. $l = \frac{V_o}{A_o}(\gamma_{Hg} - 3\alpha_o)\,t$

5.47. a) $\Delta S = 2\pi R_0^2\,\alpha\Delta t(\pi - \theta/2) = 2{,}31\ cm^2$

b) $\theta' = \frac{l}{R} = \frac{l_o(1 + \alpha t)}{R_o(1 + \alpha t)} = \theta$

5.48. Volumul devine minim când densitatea devine maximă și deci $\rho'(t) = 0$ $\Rightarrow t \approx -21°C$.

$$V_{min} = \frac{m}{\rho_o}\left(1 + [a + b(t - 40)]t\right) = 1{,}1395\ cm^3$$

5.49. Din legea dilatării liniare: $\Delta l = l_2 - l_1 = l_0\alpha(t_2 - t_1) = \frac{l_1}{1 + \alpha t_1}\cdot\alpha(t_2 - t_1)$

Δl este egal cu deplasarea capătului pârghiei pe care se sprijină.

$$\Delta l = a_1 = a_2 b_1/b_2 \Leftrightarrow \frac{a_2 b_1}{b_2} = \frac{l_1}{1 + \alpha t_1}(t_2 - t_1) \Rightarrow \alpha = 2\cdot10^{-5}\ grd^{-1}$$

5.50. Cristalul de cuarț este anizotrop. Prin încălzire, suprafața discului devine eliptică, cu semiaxele a și b, de arie $S = \pi ab$.

$$\Delta S = S - S_0 = \pi r_0^2(\alpha_1 + \alpha_2)\,t$$

5.51. a) $p_2 = p_1\frac{1 + 2\alpha t_1}{1 + 2\alpha t_2} < p_1$; b) $\Delta V = \frac{V_1}{1 + 3\alpha t_1}\Delta t(\gamma - 3\alpha)$

5.52. a) $p_s = 2p_d = 0{,}36\%$; $p_v = 3p_d = 0{,}54\%$

b) $p_m = m' - m = V(1 + \gamma t)\cdot\frac{\rho}{1 + \gamma t} - V\rho = 0 \Rightarrow p_m = 0$

$$\alpha\,\Delta t = \frac{0{,}18}{100} \Rightarrow \alpha = 18\cdot10^{-6}\ grd^{-1}$$

5.53. Cum apa se dilată mai mult decât vasul și se dilată și sfera, volumul de apă ce curge din vas la încălzire este:

$\Delta V = \Delta V_{apă} - \Delta V_{vas} + \Delta V_{sferă}$ sau:

$\Delta V = (V_0 - V_{01})\,\gamma_{apă}t - 3V_0\alpha_{Cu}t + 3V_{01}\alpha_1 t$

Temperatura se calculează ținând seama de faptul că greutatea aparentă devine nulă la încălzire, astfel că:

$$\rho_1 = \rho_{apă} \Leftrightarrow \frac{\rho_{o1}}{1+3\alpha_1 t} = \frac{\rho_{o\ apă}}{1+\gamma_{apă} t} \Leftrightarrow \frac{d\rho_{o\ apă}}{1+3\alpha_1 t} = \frac{\rho_{o\ apă}}{1+\gamma_{apă} t}$$

Deci temperatura de încălzire, t, este:

$$t = \frac{d-1}{3\alpha_1 - d\gamma_{apă}} = \frac{1{,}01-1}{3\cdot 8{,}4\cdot 10^{-5} - 15{,}15\cdot 10^{-5}}\ \text{grd} \cong 100^o\ \text{C}$$

Masa de apă ce a curs din vas este:

$$\Delta m = \rho_{apă}\Delta V = \frac{\rho_{o\ apă}}{1+\gamma_{apă} t}[(V_o - V_{o1})\gamma_{apă} t - 3V_o\alpha_{Cu} t + 3V_{o1}\alpha_1 t] \cong 5{,}379\ \text{g}$$

5.54. Volumul final de alcool, prin amestecare, este:

$V = V'_1 + V'_2$ unde $V_1' = V_1\dfrac{1+\gamma\theta}{1+\gamma t_1}$ și $V'_2 = V_2(1+\gamma\theta) \Rightarrow$

$$V = \left(\frac{V_1}{1+\gamma t_1} + V_2\right)(1+\gamma\theta);\ V_1 = V_2 = V' \Rightarrow V = V'\frac{2+\gamma t_1}{1+\gamma t_1}(1+\gamma\theta)$$

unde θ este temperatura de echilibru, ce se obține din ecuația calorimetrică:

$$V_1\rho_1 c(t_1-\theta) = V_2\rho_2 c\theta \Leftrightarrow V_1\frac{\rho_o}{1+\gamma t_1}(t_1-\theta) = V_2\rho_o\theta$$

de unde temperatura finală, θ, este:

$$\theta = \frac{t_1}{2+\gamma t_1}$$

Înlocuind expresia temperaturii finale în expresia volumului, se obține:

$$V = V'\frac{2+\gamma t_1}{1+\gamma t_1}\left(1+\gamma\frac{t_1}{2+\gamma t_1}\right) = 2V'$$

Se observă că volumul final al amestecului este egal cu volumul inițial.

5.55. Din legea fundamentală a dinamicii, se calculează accelerația mișcării bilei prin alcool (fig. 88).

$$\vec{G} + \vec{F}_A = m\vec{a}_o \Rightarrow m a_o = mg - \frac{m}{\rho_{os}}\rho_{o\ alc}\, g \Rightarrow a = g\frac{\rho_{os}-\rho_{o\ alc}}{\rho_{os}}$$

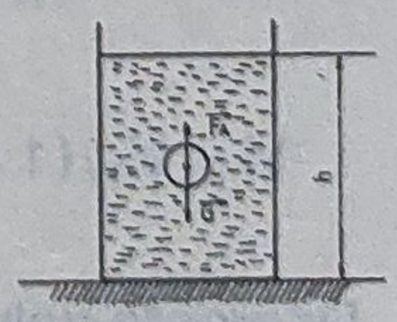


Fig. 88.

Legea mișcării uniform accelerate este:

$$h = a_o \frac{t_1^2}{2} = \frac{g}{2} \cdot \frac{\rho_{os} - \rho_{o\,alc}}{\rho_{os}} t_1^2 \qquad (1)$$

În cazul modificării temperaturii se modifică și densitățile bilei și alcoolului, astfel că se modifică accelerația mișcării:

$$m\,a = m\,g - \frac{m}{\rho_s}\rho_{alc}\,g \Rightarrow a = \frac{\rho_s - \rho_{alc}}{\rho_s}\,g = g\left(1 - \frac{\rho_{oalc}}{\rho_{os}} \cdot \frac{1 + \gamma_s\,t}{1 + \gamma_{alc}\,t}\right)$$

Legea mișcării, în acest caz, este:

$$h = \frac{a}{2}\,t_2^2 = \frac{1}{2}\,g\left(1 - \frac{\rho_{oalc}}{\rho_{os}} \cdot \frac{1 + \gamma_s\,t}{1 + \gamma_{alc}\,t}\right) t_2^2 \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține timpul de mișcare, t_2:

$$t_2 = t_1 \sqrt{\frac{(\rho_{os} - \rho_{oalc})(1 + \gamma_{alc}\,t)}{(\rho_{os} - \rho_{oalc}) + (\rho_{os}\,\gamma_{alc} - \rho_{oalc}\,\gamma_s)\,t}}$$

Cum $\rho_{0s} = 2\rho_{0alc}$, rezultă:

$$t_2 = t_1 \sqrt{\frac{1 + \gamma_{alc}\,t}{1 + (2\,\gamma_{alc} - \gamma_s)\,t}} = t_1 \sqrt{\frac{1 + 10^{-3} \cdot 80}{1 + (2 \cdot 10^{-3} - 2{,}7 \cdot 10^{-5}) \cdot 80}} \approx 0{,}83\,t_1$$

5.56. Notând cu v_0 volumul unei diviziuni la 0°C, volumul a 50 diviziuni, la temperatura t_1, va fi:

$$V_1 = 50 v_0 (1 + \gamma_s t_1),$$

unde V_1 este volumul fiecăruia din lichide la temperatura t_1. Atunci, volumele la 0°C pentru cele două lichide sunt:

$$V_{oHg} = \frac{50 v_o (1 + \gamma_s\,t_1)}{1 + \gamma_{Hg}\,t_1};\; V_{o\,l} = \frac{50 v_o (1 + \gamma_s\,t_1)}{1 + \gamma_l\,t_1}$$

Volumele ocupate de mercur și lichid la temperatura t_2 sunt:

$$V_{Hg} = V_{o\,Hg}(1 + \gamma_{Hg}\,t_2) = \frac{50\,v_o (1 + \gamma_s\,t_1)(1 + \gamma_{Hg}\,t_2)}{1 + \gamma_{Hg}\,t_1}$$

$$V_l = V_{o\,l}(1 + \gamma_l\,t_2) = \frac{50\,v_o (1 + \gamma_s\,t_1)(1 + \gamma_l\,t_2)}{1 + \gamma_l\,t_1}$$

Diferența volumelor lichidelor, prin dilatare la t_2, este:

$$\Delta V = V_{Hg} - V_l = 0{,}3 v_o (1 + \gamma_s\,t_2)$$

Folosind expresiile de mai sus, se obține:

$$0{,}3\,(1+\gamma_s\,t_2)=50\,(1+\gamma_s\,t_1)\left(\frac{1+\gamma_{Hg}\,t_2}{1+\gamma_{Hg}\,t_1}-\frac{1+\gamma_l\,t_2}{1+\gamma_l\,t_1}\right)$$

Înlocuind cu valorile numerice, rezultă $\gamma_l \approx 1{,}02\cdot10^{-4}\,\text{grd}^{-1}$.

5.57. a) Din legea dilatării, $l = l_0(1+\alpha t)$, avem: $\Delta l = l_0\alpha\Delta t = l_0\alpha t$.

Variația de temperatură se obține din căldura primită, $Q = mc\Delta t \Rightarrow \Delta t = Q/mc = Q/(S_0 l_0 \rho_0 c)$.

Deci:

$$\Delta l = l_o\,\alpha\,\frac{Q}{\rho_o\,S_o\,l_o\,c}=\frac{\alpha\,Q}{\rho_o\,S_o\,c}=3{,}07\ \text{cm}$$

$$\text{b)}\ \Delta U = Q-p\,\Delta V = Q-p\,S_o\,l_o\,3\,\alpha\,\frac{Q}{S_o\,l_o\,\rho_o\,c}=Q\left(1-\frac{3\,p\,\alpha}{\rho_o\,c}\right)=Q(1-10^{-6})\approx$$

$$\approx Q_1 \approx 22\ \text{MJ})$$

$$\text{c)}\ Q=\eta mq \Rightarrow m=\frac{Q}{\eta\,q}=\frac{22\cdot10^{6}}{0{,}3\cdot3{,}13\cdot10^{7}}=2{,}34\ \text{kg}$$

d) Din legea Hooke, $\Delta l/l_0 = (1/E)\cdot(F/S)$ și legea dilatării, se obține:

$$F = E\alpha S\Delta t = \frac{1}{100}\,ES = 10^{-2}\cdot(2\cdot10^{11}\ \text{N/m}^2)\cdot24\cdot10^{-4}\ \text{m}^2 = 48\cdot10^{5}\ \text{N}$$

5.58. Prin încălzirea corpului de la temperatura t_1 la temperatura t_2, volumul a variat cu $\Delta V = V_2 - V_1 = V_0\gamma\Delta t$. Căldura absorbită este $Q = mc\Delta t = mc\Delta V/V_0\gamma$.

Cum masa $m = V_0\rho_0$, rezultă $Q = \rho_0 c\Delta V/\gamma$.

Căldura absorbită depinde numai de natura metalului și de variația de volum, nu și de masă. Căldura absorbită de cele două corpuri din același material, cu restricția dată, este aceeași.

5.59. Variația totală de volum este: $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$, unde:

$\Delta V_1 = V_{o_1}\,\gamma\,\Delta t_1 = V_o\,\gamma\,(t_1-\theta)$; $\Delta V_2 = V_{02}\gamma(t_2-\theta)$

Temperatura finală θ se obține din ecuația de echilibru:

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Leftrightarrow m_1c_1(\theta - t_1) + m_2c_2(\theta - t_2) = 0 \Rightarrow \theta = \frac{m_1\,t_1 + m_2\,t_2}{m_1 + m_2}$$

Înlocuind valoarea temperaturii finale, θ, se obține:

$$\Delta V_1 = V_{o_1}\,\gamma\left(t_1-\frac{m_1\,t_1+m_2\,t_2}{m_1+m_2}\right)=\frac{m_1}{\rho_o}\,\gamma\,(t_1-t_2)\,\frac{m_2}{m_1+m_2}$$

Analog, pentru corpul al doilea:

$$\Delta V_2 = V_{o_2}\gamma(t_2-\theta)=\frac{m_2}{\rho_o}\gamma(t_1+t_2)\frac{m_1}{m_1+m_2}$$

de unde:

$$\Delta V=\Delta V_1+\Delta V_2=\frac{m_1}{\rho_o}\gamma(t_1-t_2)\frac{m_2}{m_1+m_2}+\frac{m_1}{\rho_o}\gamma(t_2-t_1)\frac{m_1}{m_1+m_2}=0$$

Rezultă că nu are loc o variație de volum.

5.60. 1^o Fie n numărul de diviziuni și V/v = N.

$$V(1+\gamma_{Hg}t)=(V+nv)(1+\gamma_s t)$$

Rezultă:

$$\gamma_s=\frac{N\gamma_{Hg}t-n}{(N+n)t}=0{,}0000276\ \text{grd}^{-1}$$

$$2^o\ (V+n'v)(1+\gamma_l t)=(V+n''v)(1+\gamma_s t)$$

$$\gamma_l=\frac{1}{t}\left[\frac{(N+n'')(1+\gamma_s t)}{N+n'}-1\right]=0{,}0005278\ \text{grd}^{-1}$$

5.61. Volumul de alcool ce curge din vas datorită dilatării este:

$$\Delta V=\Delta V_{alc}-\Delta V_{vas}$$

$$\Delta V=V_1\Delta t\left(\frac{\gamma_{al}}{1+\gamma_{al}t_1}-\frac{3\alpha}{1+3\alpha\ t_1}\right)$$

Masa alcoolului scurs este:

$$\Delta m=\rho\Delta V=\frac{\rho_o}{1+\gamma_{al}t_2}\cdot V_1\Delta t\left(\frac{\gamma_{al}}{1+\gamma_{al}t_1}-\frac{3\alpha}{1+3\alpha\ t_1}\right)$$

Căldura eliberată prin ardere este Q = qΔm și este parțial acumulată de apa pusă la încălzire.

$$\eta\ q\Delta m=m\ c\Delta t\Rightarrow\Delta t=\frac{\eta\ q\Delta m}{m\ c}\ \text{sau}$$

$$\Delta t=\frac{\eta\ q}{m\ c}\cdot\frac{\rho_o\ V_1\ (t_2-t_1)}{1+\gamma_{al}\ t_1}\cdot\left(\frac{\gamma_{al}}{1+\gamma_{al}\ t_1}-\frac{3\alpha}{1+3\alpha\ t_1}\right)=77^o\ C$$

Variația de temperatură suferită de apă este:

$\Delta t = \theta - t_3$, unde temperatura finală este $\theta = 90^oC$.

Volumul apei la temperatura θ, neglijând dilatația neregulată a apei, este:

$$m = V\rho = V\frac{\rho_o}{1+\gamma_{apă}\,\theta} \Rightarrow V = \frac{m(1+\gamma_{apă}\,\theta)}{\rho_o} = 40{,}72\ dm^3$$

5.62. $l_1 - l_2 = l \Leftrightarrow l_{01}(1+\alpha_1 t) - l_{02}(1+\alpha_2 t) = l$ (1)

Dar și pentru 0°C: $l_{01} - l_{02} = l$ (2)

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$l_{o1} = l\frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} = 2{,}5\ cm,\quad l_{o2} = l\frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2} = 4{,}5\ cm$$

5.63. Ceasornicul indică pe cadran numărul perioadelor de oscilație, care, într-un interval de timp Δt, este $N = \Delta t/T$. În cazul când temperatura se modifică, se modifică perioada și, respectiv, numărul de oscilații. Cum

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l_o(1+\alpha\,t)}{g}}$, odată cu creșterea temperaturii, perioada crește și numărul de bătăi în intervalul de timp Δt scade, deci ceasornicul rămâne în urmă.

La temperatura t_1, perioada este: $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_o(1+\alpha\,t_1)}{g}}$

La temperatura t_2, perioada este: $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_o(1+\alpha\,t_2)}{g}}$

Rezultă: $T_2 = T_1\sqrt{\frac{1+\alpha\,t_2}{1+\alpha\,t_1}}$

$$\Delta N = \frac{\Delta t}{T_2} - \frac{\Delta t}{T_1} = \frac{\Delta t}{T_1}\left(\sqrt{\frac{1+\alpha\,t_1}{1+\alpha\,t_2}} - 1\right) = \frac{86400\cdot 30}{0{,}5}\left(\sqrt{\frac{1+1{,}4\cdot 10^{-5}}{1+2{,}7\cdot 10^{-5}}} - 1\right) \approx 9 \text{ oscilații}$$

Deci ceasornicul rămâne în urmă cu 9 secunde.

În cazul folosirii alamei, avem:

$$\Delta N = \frac{\Delta t}{T_1}\left(\sqrt{\frac{1+\alpha_1\,t_2}{1+\alpha_2\,t_1}} - 1\right) = \frac{86400\cdot 30}{0{,}5}\left(\sqrt{\frac{1+4\cdot 10^{-4}}{1+6\cdot 10^{-4}}} - 1\right) = -518{,}4\ s \approx$$

$\approx -519\ s = -8{,}65\ min$

6. Fenomene superficiale

6.4. a) $h = 4\sigma/d\rho g = 1{,}49$ cm; $r = (1/2)\cdot d\cos\alpha = 0{,}865$ mm

6.5. $\sigma_1 = mg/(2\pi r N_1) = 104{,}5\cdot 10^{-3}$ N/m; $\sigma_2 = \sigma_1 \cdot N_1\rho_2/(N_2\rho_1) = 41{,}8$ N/m

6.6. $h = 2\sigma\cos\alpha/(d\rho g) = 7{,}45$ cm

6.7. $\dfrac{h_{apă}}{h_{petrol}} = \dfrac{\rho_{petrol}\,\sigma_{apă}}{\rho_{apă}\,\sigma_{petrol}} = 2{,}43$

6.8. a) Mișcarea fiind uniformă, rezultanta forțelor de greutate arhimedică și de rezistență la înaintarea în fluide este nulă:

$$m g + k\rho_{apă} S v^2 = V'\rho_{apă} g \Rightarrow r = \frac{3k g h}{t g(\rho_{apă}\rho)} \approx 6\cdot 10^{-4}\ \text{m}$$

b) $p = p_{atmosf} + \dfrac{2\sigma}{r} + \rho_{apă} g h = 834{,}98$ torr

6.9. $\Delta h = \dfrac{4\sigma}{\rho g d_1 d_2}(d_2\cos\alpha_1 - d_1\cos\alpha_2)$

6.10. $p_y = p - \dfrac{2\sigma\cos\alpha}{r}\cdot\dfrac{y}{h}$; $p_O = p_o$, $p_1 = p - \dfrac{2\sigma\cos\alpha}{r}$

6.11. $r = \dfrac{8\sigma}{12 p_{at} + \rho g l} = 0{,}485\,\mu m$

6.12. $N = \dfrac{V_o\rho_o g(1+3\alpha t)}{\pi d\sigma(1+\gamma t)} \approx 225$ picături

6.13. $\Delta W = \sigma(4\pi r^2 N - 4\pi R^2) = (4\pi R^3/3)\cdot\rho c\Delta t$ cu $R = r\sqrt[3]{N}$

$$\Delta t = \frac{3\sigma}{N r\rho c}\left(N - \sqrt[3]{N^2}\right);\ \Delta t = \lim_{N\to\infty}\frac{3\sigma}{N r\rho c}\left(N - \sqrt[3]{N^2}\right) = \frac{3\sigma}{r\rho c}$$

6.14. a) $(p' - p'')\,S = \Delta pS = 2pR\sigma\cdot 2$, unde:

p' = presiunea spre peretele bulei, p'' = presiunea dinspre perete, S = = proiecția suprafeței bulei pe un plan perpendicular pe direcția aleasă, care este πR^2.

$$\Delta p\cdot\pi R^2 = 4\pi R\sigma \Rightarrow \Delta p = 4\sigma/R = 32\ \text{Pa}$$

b) $L = \Delta W = S\sigma = 2\cdot 4\pi R^2\sigma = 8\pi R^2\sigma = 25{,}8\cdot 10^{-6}\,\mu J$

6.15. $\dfrac{n_2}{n_1} = \dfrac{\sigma_1}{\sigma_2}\cdot\dfrac{1+3\alpha t_2}{1+3\alpha t_1}\cdot\dfrac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t_2}\cdot\dfrac{1+\gamma t_1}{1+\gamma t_2}$

6.16. Din figura 89 la echilibru, greutatea coloanei de lichid este egală cu suma forțelor superficiale pentru cele două meniscuri, inferior și superior:

$$mg = 2\pi r\sigma - 2\pi r\sigma\cos\alpha \text{ sau } \pi r^2 h\rho g = 2\pi r\sigma - 2\pi r\sigma\cos\alpha$$

La meniscul superior, r este considerat pozitiv (menisc convex către lichid) și la cel inferior, negativ.

$$h = \frac{2\sigma}{r\rho g}(1 - \cos\alpha)$$

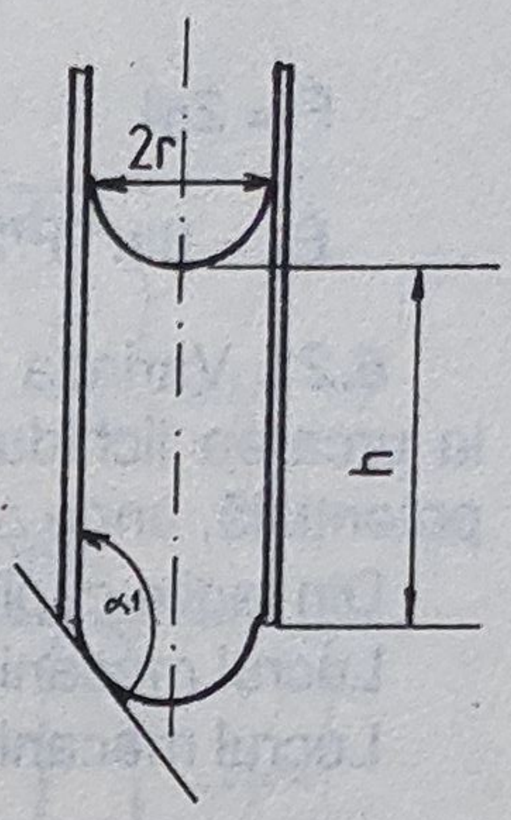


Fig. 89.

Cum $\pi/2 < \alpha < \pi \Rightarrow h = h_{max}$, $\alpha = \pi$ și $\cos\pi = -1$.

$$h_{max} = 4\sigma/(r\rho g)$$

Datorită existenței a două suprafețe libere, h_{max} este de două ori ascensiunea lichidului în tubul capilar respectiv.

6.17. Presiunea aerului din interiorul balonului este:

$$p = p_{at} + 2\cdot 2\sigma/r$$

Factorul 2 arată că membrana are două suprafețe cu raze de același semn.

$$p_1 = p_{at} + 4\sigma/r_1,\ p_2 = p_{at} + 4\sigma/r_2$$

Cum $r_1 < r_2 \Rightarrow p_1 > p_2$.

Rezultă că va trece aer din balonul cu raza r_1, care se va micșora, în balonul cu raza r_2, care se va mări.

6.18. a) Din legea Jurin se obține $h = 2\sigma/r\rho g$

b) $L = F\cdot h = 2\pi r\sigma h = 4\pi\sigma^2/\rho g$

c) $E_p = mg\cdot h/2 = 2\pi\sigma^2/\rho g$

Se observă că $E_p = L/2$, deoarece apar forțe disipative ce modifică energia internă a coloanei de lichid.

6.19. Forțele ce acționează asupra areometrului sunt greutatea, forța arhimedică și forțele de tensiune superficială, îndreptate în jos. La echilibru, în cele două situații, rezultă:

$$\sigma + 2\pi r\sigma_1 = (V + n_1 v)\rho_1 g;\quad \sigma + 2\pi r\sigma_2 = (V + n_2 v)\rho_2 g$$

Rezultă: $n_2 = n_1 - \dfrac{\pi d(\sigma_1 - \sigma_2)}{v\rho_1 g} = n_1 - \dfrac{4v\pi d}{v\rho_1 g} < n_1$

6.20. Energia potențială superficială în cazul balonului de săpun cu două fețe este:

$$E_p = 2\sigma S = 8\pi r^2\sigma$$

Forța superficială la plutirea acului este:

$$F = 2\sigma l$$

$$E_p = 8\pi r^2 \cdot F/2l = 4\pi r^2 F/l = 39{,}5 \cdot 10^{-4}\ \text{J}$$

6.21. Variația energiei interne a coloanei de lichid rezultă din lucrul mecanic la urcarea lichidului în tub. Odată cu ridicarea lichidului în tub crește energia potențială, unde $\Delta E_p = mgh/2$:

Din legile capilarității: $h = 2\sigma/(r\rho g) \Rightarrow \Delta E_p = 2\pi\sigma^2/(\rho g)$.

Lucrul mecanic este: $L = F \cdot h = 2\pi r\sigma \cdot h = 4\pi\sigma^2/\rho g$

Lucrul mecanic măsoară variația energiei sistemului, deci:

$$L = \Delta E_p + \Delta U \Leftrightarrow 4\pi\sigma^2/\rho g = 2\pi\sigma^2/\rho g + mc\Delta t$$

Prin înlocuirea masei se obține: $\Delta t = \sigma/(r\rho c)$.

6.22. Căldura cedată de lichidul ce curge în vas, în intervalul de timp τ, este egală cu suma dintre căldura pierdută în acest timp și căldura necesară ridicării temperaturii vasului și lichidului din el la t_3:

$$\tau D_m c(t_1 - t_3) = \tau q + (Mc + C)(t_3 - t_2)$$

Se obține timpul de curgere:

$$\tau = \frac{(Mc + C)(t_3 - t_2)}{D_m c(t_1 - t_3) - q};$$

b) În acest caz, debitul se micșorează, deoarece trebuie compensată numai pierderea de căldură, adică:

$$\tau' Q'_m c(t_1 - t_3) = \tau' q \Rightarrow Q'_m = \frac{q}{c(t_1 - t_3)}$$

c) Picătura cade atunci când greutatea compensează forța de tensiune superficială:

$$mg = 2\pi r\sigma$$

Numărul picăturilor ce cad în unitatea de timp este:

$$N = Q'_m/m = gq/[2\pi r\sigma(t_1 - t_3)]$$

6.23. $h = \frac{1}{\rho g}\left[p_0(n^3 - 1) + \frac{2\sigma}{r} n(n^2 - 1)\right] = 5{,}6\ \text{m}$

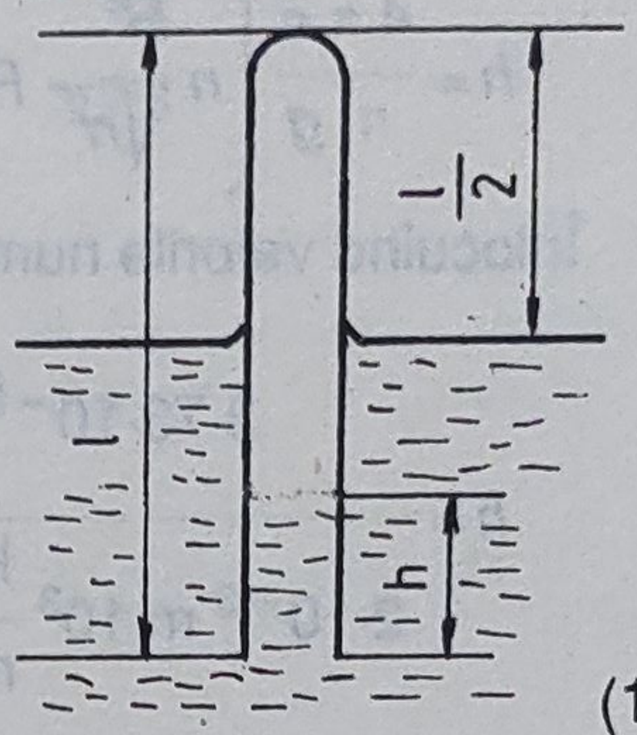
6.24. a) $p_1 S \frac{l}{2} = p_2 (l - l_2) S,\ p_2 + \rho g l_2 = p_1$

Rezultă: $l_2 = \frac{p_1 + \rho g l - \sqrt{(p_1 + \rho g l)^2 - 2\rho g l p_1}}{2g} = 47{,}5\ \text{cm}$

b) $p_1 S\frac{l}{2} = p'_2(l - l'_2)S$, $p'_2 + \rho g l'_2 = p_1 + \frac{4\sigma}{r}$

$$l'_2 = \frac{p_1 + \rho g l + \frac{2\sigma}{r} - \sqrt{\left(p_1 + \rho g l + \frac{4\sigma}{r}\right)^2 - 2\rho g l\left(1 + \frac{4\sigma}{r}\right)}}{2g} \approx l_2$$

6.25. Numărul de picături este n = M/m, unde m = masa unei picături și M = masa eterului ce saturează atmosfera.



$$mg = 2\pi r\sigma;\ p_s V_0(1 + 3\alpha_s t) = (M/\mu)\cdot RT$$

$$n = \frac{\mu p_o V_o (1 + 3\alpha_s t) g}{2\pi r\sigma RT} = 1{,}853$$

Din a doua picătură rămâne o parte ca eter lichid.

6.26. Din legea Boyle-Mariotte (vezi fig. 90), avem:

Fig. 90.

$$lp_0 = (l - h)\cdot p \qquad (1)$$

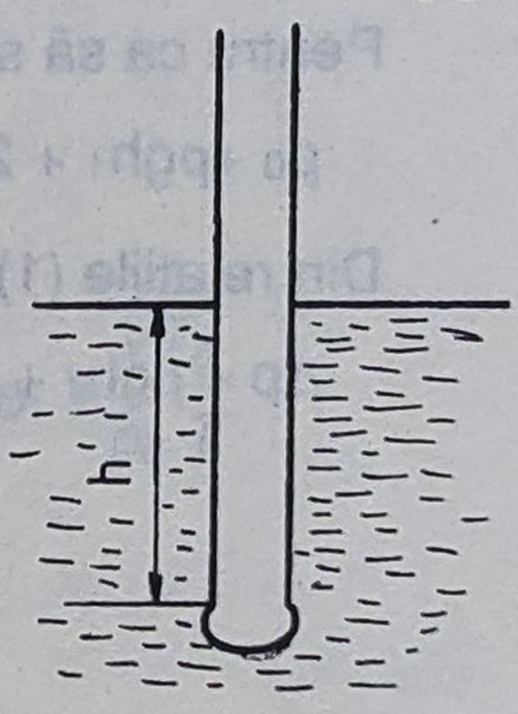
Echilibrul presiunilor la nivelul lichidului din tub este

$$p_0 + \rho g(l/2 - h) = p - 2\sigma/r \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$\sigma = \frac{r}{2}\left[\frac{p_o h}{l - h} - \rho g\left(\frac{l}{2} - h\right)\right]$$

6.27. Presiunea suplimentară trebuie să echilibreze presiunea hidrostatică:



$$2\sigma/r = \rho gh = \rho g\cdot V/S, \text{ de unde:}$$

$$V = 2\sigma S/(r\rho g) = 2{,}19\ l$$

Fig. 91.

6.28. La introducerea tubului în lichid, acesta urcă pe înălțimea $h' = 2\sigma/r\rho g$. Presiunea suplimentară provoacă coborârea lichidului din tub și formarea bulei la capătul inferior.

Echilibrul presiunilor la nivelul capătului inferior în lichid, la adâncimea h (fig. 91), este:

$$p_0 + \rho gh = -2\sigma/r + \Delta p + p_0$$

Din relația obținută rezultă:

$$\sigma = (r/2)(\Delta p - \rho gh) = \frac{10^{-3}}{2}\,m\left(\frac{4}{760}\cdot 101325\,\frac{N}{m^2} - 800\,\frac{kg}{m^{-3}}\cdot 9{,}8\,\frac{m}{s^2}\cdot 5\cdot 10^{-2}\,m\right)$$

6.29. Energia potențială gravitațională este folosită la fragmentarea picăturii prin mărirea energiei sistemului lichid, adică:

$$mgh = \sigma\Delta S = \sigma\left(n\,4\pi r^2 - 4\pi R^2\right) = 4\pi\sigma\left(n r^2 - R^2\right)$$

Din conservarea volumului, avem: $4\pi R^3/3 = n\cdot 4\pi r^3/3 \Rightarrow r = \frac{R}{\sqrt[3]{n}}$

În consecință:

$$h = \frac{4\pi\sigma}{m g}\left(n\frac{R^2}{\sqrt[3]{n^2}} R^2\right) = \frac{4\pi\sigma 3}{4\pi R^3 \rho g}\cdot R^2\left(\frac{n}{\sqrt[3]{n^2}} 1\right) = \frac{3\sigma}{R\rho g}\left(\frac{n}{\sqrt[3]{n^2}} 1\right)$$

Înlocuind valorile numerice, se obține:

$$h = \frac{3{\cdot}73{\cdot}10^{-3}\ \frac{N}{m}}{2{\cdot}10^{-3}\ m{\cdot}10^3\ \frac{kg}{m^3}{\cdot}9{,}8\ \frac{m}{s^2}}\left(\frac{3}{2{,}08} - 1\right) = 4{,}94\ mm$$

6.30. La introducerea tubului în lichid, ascensiunea capilară este:

$$h_2 = 2\sigma/(r\rho g) \qquad (1)$$

Pentru ca să se formeze bula, echilibrul presiunilor este:

$$p_0 + \rho g h_1 + 2\sigma/r = \Delta p + p_0 \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$\Delta p = \rho g h_1 + \rho g h_2 = \rho g(h_1 + h_2) = 900\ kg/m^3{\cdot}9{,}8\ m/s^2{\cdot}13{\cdot}10^{-2}\ m = 1146{,}6\ Pa$$

7. Schimbări de stare fizică

7.5. $Q = mc(t_2 - t_1) + m\lambda_t = 2775\ kJ$

7.6. Vezi fig. 92. $Q = mc_g(t_0 - t_1) + m\lambda_t + mc_{apă}(t_2 - t_0) = 1295{,}8\ kJ$

7.7. $|Q_1| = Q_2' + Q_2'' + Q_2'''$;

$$m_2 = \frac{m_1 c_1 (t_1 - t_2)}{c_g (t_1 - t_2) + \lambda_t + c_{apă}(\theta - t_o)}$$

7.8. $m = \frac{m_1 (c_1 \Delta t + \lambda_t)}{\eta q} = 42{,}4\ g$

7.9. $m = 28{,}125$ t lemne

7.10. $\lambda_t = 59231\ J/kg$

7.11. $m = 598g$; $W = 92{,}88{\cdot}10^{-3}\ kWh$

Fig. 92.

7.12. $Q = L = \eta P \cdot t = m\lambda_t \Rightarrow m = 3{,}375$ kg

7.13. $\mu mgd = m'\lambda_t \Rightarrow m' = 1{,}17$ kg

7.14. $m = 184{,}4$ kg

7.15. $m = 102{,}7$ g

7.16. $\tau = 287$ zile

7.17. $h = 1{,}65$ cm

7.18. $\lambda_t = 20900$ J/kg

7.19. Se topește: $\theta = 857°C$

7.23. $Q = mc\Delta t + m'\lambda_v = 123310$ J

7.24. $\lambda_v = 373399$ J/kg

7.25. $m = 10{,}59$ kg

7.26. $\theta = 39{,}9°C$

7.27. $Q = 30895$ kJ; $V \approx 17\ m^3$

7.28. $Q = 553014 \cdot 10^5$ kJ; $\Delta t = 6°C$

7.29. $m = 77$ kg

7.30. $m = 22{,}8$ kg

7.31. $m = 1{,}21$ kg

7.32. $\lambda_v = 868136$ J/kg

7.33. $m = 1{,}345$ kg

7.34. $\theta = 39°$

7.35. $L = 26334$ kJ

7.36. $m = 202$ g

7.37. $m \approx 12{,}02$ kg

7.38. a) $\eta = \dfrac{Q_u}{Q_c} = \dfrac{mc(t_2 - t_1) + \lambda_v}{q\Delta V_o}$, unde $\Delta V_{o\,(gaz\ ars)} = (p - p_1)\dfrac{VT_o}{p_o T}$

$$m = \frac{\eta (p - p_1) q}{c(t_2 - t_1) + \lambda_v} \cdot \frac{VT_o}{p_o T} = 119{,}38 \text{ kg}$$

b) $Q_m \tau\, c_{apă}(t'' - t') = m\lambda_v \Rightarrow Q_m = \dfrac{m\lambda_v}{\tau\, c_{apă}(t'' - t')} = 28{,}96 \dfrac{g}{s}$

7.39. a) Nu: $m = 20$ g; b) $9{,}09°C$

7.40. a) $p = p_{N2} + p_o = p_A \dfrac{V_A}{V_A + V'_B} \cdot \dfrac{T_2}{T_1} + p_o = 191359$ Pa

b) $E = \dfrac{5}{2}\nu_1 RT_2 + 3\nu_2 RT = \dfrac{5}{2} p_A V_A \dfrac{T_2}{T_1} + 3p_o(V_A + V'_B) = 1915{,}9$ J

c) Prin încălzire se consumă căldură pentru ridicarea temperaturii azotului, vaporilor de apă existenți, a apei și pentru vaporizarea unei părți din apă:

$$Q = \nu_1 C_{v_{N_2}}(T_2 - T_1) + \nu_2 C_{v_v}(T_2 - T_1) + m_a c_a (T_2 - T_1) + m_v \lambda_v$$

$$Q=\frac{p_A V_A}{RT_1}\cdot\frac{5}{2}R(T_2-T_1)+\frac{p'V'_B}{RT_1}\cdot 3R(T_2-T_1)+m_a c_a(T_2-T_1)+$$

$$+\frac{\mu p_0(V_A+V_B')}{RT_2}\lambda_v$$

Prin înlocuire cu valorile numerice se obține Q = 92232 J.

7.41. $m=\dfrac{m_a(c_a\Delta t+\lambda_v)}{\eta q}=42\dfrac{\text{kg}}{\text{h}}$

7.42. a) $p_{1O_2}V=(m/\mu)\cdot RT_1\Rightarrow p_{1O_2}=\dfrac{m}{\mu}\cdot\dfrac{RT_1}{V}=10^5$ Pa

$p_{1v}=p-p_{1O_2}=0{,}5\cdot 10^5$ Pa (vapori nesaturanți cu $p_{1v}<p_0$)

$p_2=p_{2O_2}+p_{2v}$; $p_{2O_2}=\dfrac{m}{\mu}\cdot\dfrac{RT_2}{V}=0{,}7\cdot 10^5$ Pa

$p_{2v}=4{,}58\text{ torr}\cdot 133\dfrac{\text{Pa}}{\text{torr}}=609$ Pa

$p_2=70609$ Pa

b) $\dfrac{p_{1O_2}V}{T_1}=\dfrac{p_{2O_2}V}{(1+\gamma t_1)T_2}\Rightarrow p_{2O_2}=p_{1O_2}(1+\gamma t_1)\dfrac{T_2}{T_1}=70073$ Pa

$p_2=p_{2O_2}+p_{2v}=70073\text{ Pa}+609\text{ Pa}=70686$ Pa

c) $\Delta m=\dfrac{\mu_{apă}\cdot V}{R}\left(\dfrac{p_{1v}}{T_1}-\dfrac{p_{2v}}{T_2}\right)=1{,}365$ g

7.43. Din diagrama schimburilor de căldură (fig. 93) rezultă:

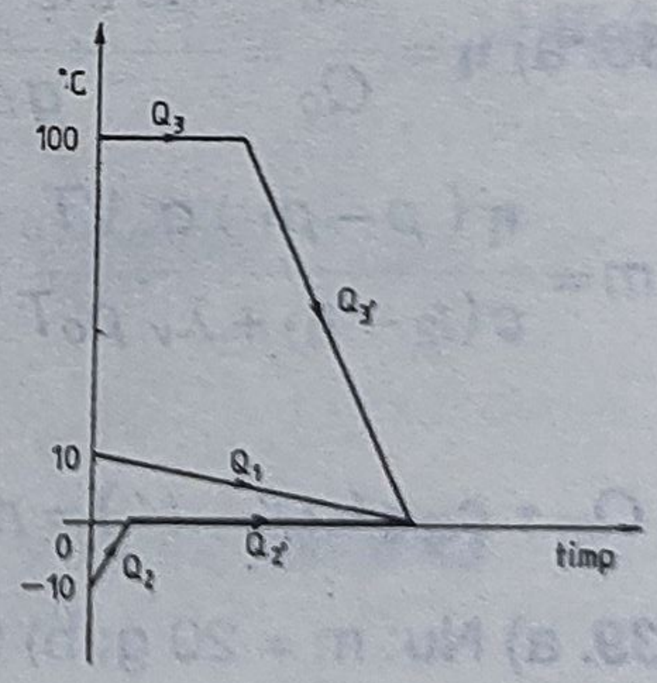


Fig. 93.

$$Q_2+Q_2'=|Q_1+Q_3+Q_3'|$$

$$m_2c_g(t_4-t_2)+m_2\lambda_t=m_1c_a(t_1-t_4)+$$
$$+m_3\lambda_v+m_3c_a(t_3-t_4)$$

$$m_3=\frac{m_2c_g(t_4-t_2)+m_2\lambda_t-m_1c_a(t_1-t_4)}{\lambda_v+c_a(t_3-t_4)}=35{,}1\text{ g}$$

7.44. Prin dilatare, lucrul mecanic pentru învingerea presiunii exterioare constante este:

$$L=p\Delta V$$

unde ΔV este variația de volum în cadrul procesului. Se știe că prin încălzirea gheții volumul crește cu ΔV_g și apa rezultată prin topirea gheții își micșorează volumul în procesul izoterm de topire, în continuare, până la 4°C.

Pentru ca lucrul mecanic să fie nul, trebuie ca ΔV să fie nul, adică:

$$\Delta V = \Delta V_g + \Delta V_a = 0 \Leftarrow \frac{M}{\rho_o}\gamma(t_o - t) + \left(-\frac{x M}{\rho_o} v\right) = 0 \qquad (1)$$

Din relația (1), știind că $t_0 = 0°C$, rezultă:

$$t = -xv/\gamma = -0{,}5 \cdot 10^{-4}/(10^{-5}\ \text{grd}^{-1}) = -5°C$$

b) Căldura consumată este formată din căldura sensibilă necesară încălzirii masei de gheață până la topire și din căldura latentă de topire:

$$Q = Q_1 + Q_2 = Mc_s(t_0 - t) + M\lambda_t$$

Numeric, se obține:

$$Q = 1\ \text{kg} \cdot 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg grd}}(\theta + 5\ \text{grd}) + 1\ \text{kg} \cdot 334000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 177{,}5\ \text{KJ}$$

7.45. a) Căldura necesară apei să ajungă la 100°C este

$$Q_1 = mc\Delta t = 4\ \text{kg} \cdot 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg grd}} \cdot 90\ \text{grd} = 360\ \text{kcal}$$

Căldura utilizată de la încălzitor este: $Q_u = \eta Q = 414$ kcal
Rezultă că o parte din apă se vaporizează:

$$\eta Q = mc\Delta t + m_v\lambda_v \Rightarrow m_v = \frac{\eta Q - m c \Delta t}{\lambda_v} = \frac{0{,}5 \cdot 828 - 4 \cdot 1 \cdot 90}{570} = 0{,}1\ \text{kg}$$

b) Volumul vaporilor se obține din ecuația de stare:

$$pV_v = (m_v/\mu) \cdot RT \Rightarrow$$

$$V_v = \frac{m_v RT}{\mu \cdot p} = \frac{0{,}1\ \text{kg}}{18\ \text{kg kmol}^{-1}} \cdot \frac{8314\ \text{J kmol}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot 373\ \text{K}}{101325\ \text{Nm}^{-2}} = 169{,}9\ \text{kl}$$

c) Moleculele de apă cu trei atomi în moleculă, în stare de vapori, au 6 grade de libertate. Conform legii echipartiției energiei, fiecărui grad de libertate îi revine energia KT/2. Deci:

$$\bar{\varepsilon} = 6 \cdot \frac{KT}{2} = 3\frac{R}{N_A}T = 3\frac{8314\ \text{J kmol}^{-1}\text{K}^{-1}}{6{,}022 \cdot 10^{26}\ \text{kmol}^{-1}} \cdot 373\ \text{K} = 15{,}49 \cdot 10^{-21}\ \text{J}$$

d) Lucrul mecanic la destinderea izobară este:

$$L = p\Delta V = p(2V - V) = pV = 101325 \cdot 0{,}1699 \frac{N}{m^2} m^3 = 17215{,}1 \text{ J}$$

7.46. a) $(mc + C)(t_f - t_1) = \eta \tau D_0 q$

$$\tau = \frac{(m c + C)(t_f - t_1)}{\eta D_0 q} =$$

$$= \frac{(8 \text{ kg} \cdot 2425 \text{ J kg}^{-1} \text{ grd}^{-1} + 200 \text{ J K}^{-1})(78^o \text{C} - 15^o \text{C})}{0{,}3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ kg min}^{-1} \cdot 4{,}6 \cdot 10^7 \text{ J kg}^{-1}} \approx 18{,}82 \text{ min}$$

b) $D_v \lambda_v = \eta D_0 q$

$$D_v = \eta D_0 q / \lambda_v = \frac{0{,}3 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ kg min}^{-1} \cdot 4.6 \cdot 10^7 \text{ J kg}^{-1}}{146 \cdot 10^3 \cdot \text{Jkg}^{-1}} = 37{,}8 \frac{g}{min}$$

c) $D_{apă} c_{apă} (t'' - t') = D_v[\lambda_v + c(t_f - t'')]$

$$D_{apă} = \frac{D_v [\lambda_v + c(t_f - t'')]}{c_{apă}(t'' - t')} = \frac{\eta D_o q [\lambda_v + c(t_f - t'')]}{\lambda_v c_{apă}(t'' - t')} =$$

$$= \frac{0{,}3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{kg min}^{-1} \cdot 4{,}6 \cdot 10^7 \text{J kg}^{-1} [146 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} + 2425 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}(78 - 35)\text{K}]}{146 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}(35 - 15)\text{K}}$$

$$D_{apă} \approx 1{,}13 \frac{kg}{min}$$

7.47. a) Energia consumată de apă și vas, ca apa să ajungă la fierbere, este:

$$P\tau = (mc + C)(t_f - t_0) \qquad (1)$$

Energia consumată de apă ca să se vaporizeze total prin fierbere este:

$$P\tau' = m\lambda_v \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține timpul necesar vaporizării:

$$\tau' = \tau \frac{m\lambda_v}{(mc + C)(t_f - t_0)} = 8\text{min} \frac{2 \text{ kg} \cdot 2250 \text{ J kg}^{-1} \cdot 10^3}{(2\text{kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} + 100 \text{J K}^{-1}) 100 \text{ K}} = 42{,}55 \text{ min}$$

b) $\eta = P/P_c$

$$P_c = \frac{P}{\eta} = \frac{(mc + C)(t_f - t_o)}{\tau \eta} = \frac{(2\text{kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} + 100 \text{ J K}^{-1}) 100 \text{ K}}{8 \cdot 60 \text{ s} \cdot 0{,}6} = 2937{,}5 \text{ W}$$

7.48. Căldura Q_1 este căldura sensibilă necesară ridicării temperaturii apei

de la temperatura de 0°C la temperatura de fierbere 100°C, la presiunea normală, unde:

$$Q_1 = mc\Delta t_1 = P\Delta\tau_1$$

Puterea P se calculează din căldura Q_2, care este căldura latentă de vaporizare a masei de apă: $Q_2 = m\lambda_v = P\Delta\tau_2$

$$\frac{P\Delta\tau_1}{P\Delta\tau_2} = \frac{mc\Delta t_1}{m\lambda_v} \Rightarrow \Delta\tau_1 = \Delta\tau_2 \frac{c\Delta t_1}{\lambda_v} = 9\ \text{min} \frac{4180\ \text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}\cdot 100\ \text{K}}{2250\cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}} \approx 1{,}672\ \text{min}$$

Căldura Q_3 este căldura sensibilă necesară ridicării temperaturii vaporilor la presiune constantă de la 100°C la 150°C.

$Q_3 = mc_p\Delta t_3 = P\Delta\tau_3$, unde:

$$\frac{P\Delta\tau_3}{P\Delta\tau_2} = \frac{mc_p\Delta t_3}{m\lambda_v} \Rightarrow \Delta\tau_3 = \Delta\tau_2 \frac{c_p\Delta t_2}{\lambda_v} = 9\ \text{min} \frac{2200\ \text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}\cdot 50\ \text{K}}{2250\cdot 10^3\ \text{J kg}^{-1}} \approx 0{,}44\ \text{min}$$

Se consideră același interval de timp pentru încălzirea apei lichide și a apei în stare de vapori, când temperaturile variază cu Δt_1, respectiv Δt_2. Din grafic se poate scrie:

$$\text{tg}\alpha_1 = \Delta t_1/\tau = Q_1/(mc\tau) = P\tau/(mc\tau) = P/(mc) \quad (1)$$

$$\text{tg}\alpha_2 = \Delta t_2/\tau = Q_2/(mc_p\tau) = P\tau/(mc_p\tau) = P/(mc_p) \quad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$\text{tg}\alpha_1/\text{tg}\alpha_2 = (P/mc)\cdot(mc_p/P) = c_p/c = 2200/4180 < 1 \Rightarrow \text{tg}\alpha_2 > \text{tg}\alpha_1 \Rightarrow \alpha_2 > \alpha_1.$$

Panta dreptei depinde de căldura specifică sensibilă.

7.49. a) $m = \dfrac{m_2\lambda_t + (m_1 + m_2)c\Delta t + (m_1 + m_2)\lambda_v}{\eta q} = 12{,}4\ \text{g}$

b) $V = \dfrac{m_1 + m_2}{\mu}\cdot\dfrac{RT_1}{p} = 0{,}1836\ \text{m}^3$

c) $L = p\Delta V = 2492{,}6\ \text{J}$

7.50. $Q_m = Q_v\cdot\rho = \rho_0\cdot(pT_0/p_0T)\cdot Q_v = (\mu/V\mu_0)\cdot(T_0/T)\cdot Q_v$

Așa cum rezultă și din figura 94:

$$|Q_4 + Q_5| = Q_1 + Q_2 + Q'_3 + Q''_3$$

sau, explicitat:

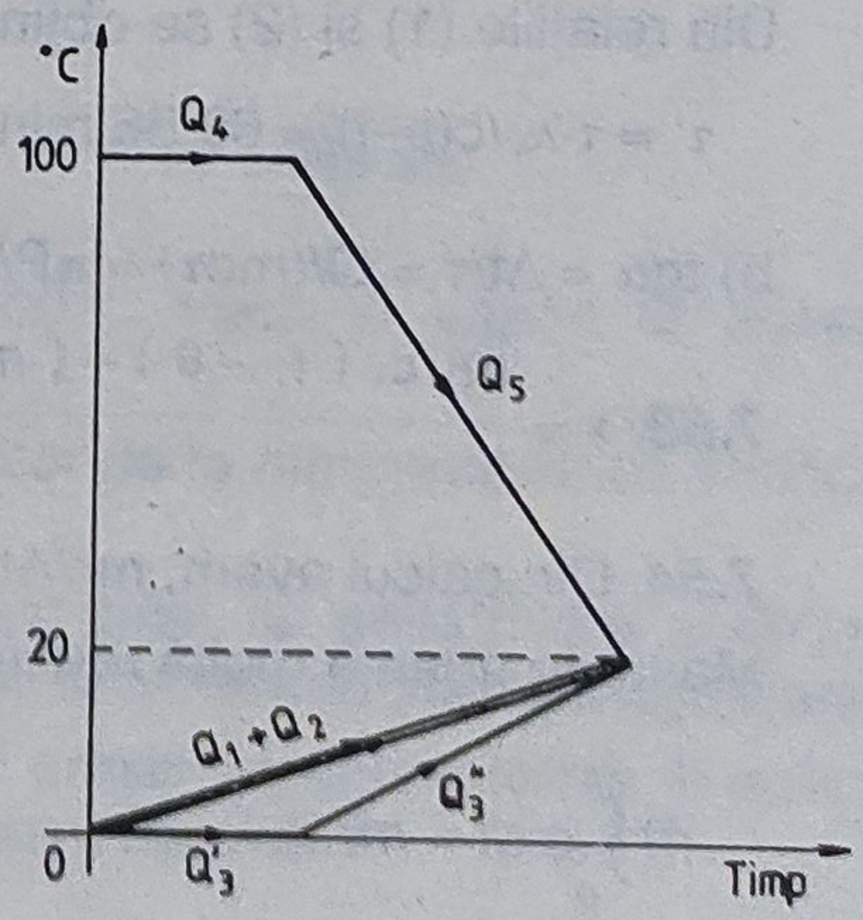


Fig. 94.

$$\frac{\mu}{V_{\mu o}}\cdot\frac{T_o}{T}\,Q_v\,\tau[\lambda_v + c_a\,(t_f - \theta)] = m_1\,c_1(\theta - t_o) + m_2\,c_a\,(\theta - t_o) + m_3\,\lambda_t + m_3\,c_a\,(\theta - t_o)$$

de unde rezultă:

$$\tau = \frac{m_3\,\lambda_t + (\,m_1\,c_1 + m_2\,c_a + m_3\,c_a\,)(\,\theta - t_o\,)}{\frac{\mu}{V_{\mu o}}\cdot\frac{T_o}{T}\,Q_v\,[\,\lambda_v + c_a(\,t_f - \theta\,)\,]} = 28{,}36\ \text{min}$$

7.51. Din masa de apă m se obține masa de gheață m_g și se vaporizează $m - m_g$.

Căldura necesară vaporizării rezultă din căldura cedată la înghețare:

$(m - m_g)\lambda_v = m_g\lambda_t$, de unde:

$$m_g = m\cdot\lambda_v/(\,\lambda_g + \lambda_v) \qquad (1)$$

În cazul utilizării eterului, avem:

$$m_e\lambda_{ve} = m_g\lambda_s = m_g\lambda_t \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$m_e = m\,\frac{\lambda_{v_a}}{\lambda_{v_a} + \lambda_g}\cdot\frac{\lambda_g}{\lambda_{ve}} = 796{,}4\ \text{g}$$

7.52. a) Căldura primită de apă pentru a se încălzi până la fierbere este:

$$Q = mc(t_f - t) = \eta P\tau \qquad (1)$$

Căldura necesară vaporizării este

$$Q' = m\lambda_v = \eta P\tau' \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține

$\tau' = \tau\cdot\lambda_v/c(t_f - t) = 60{,}56$ min.;

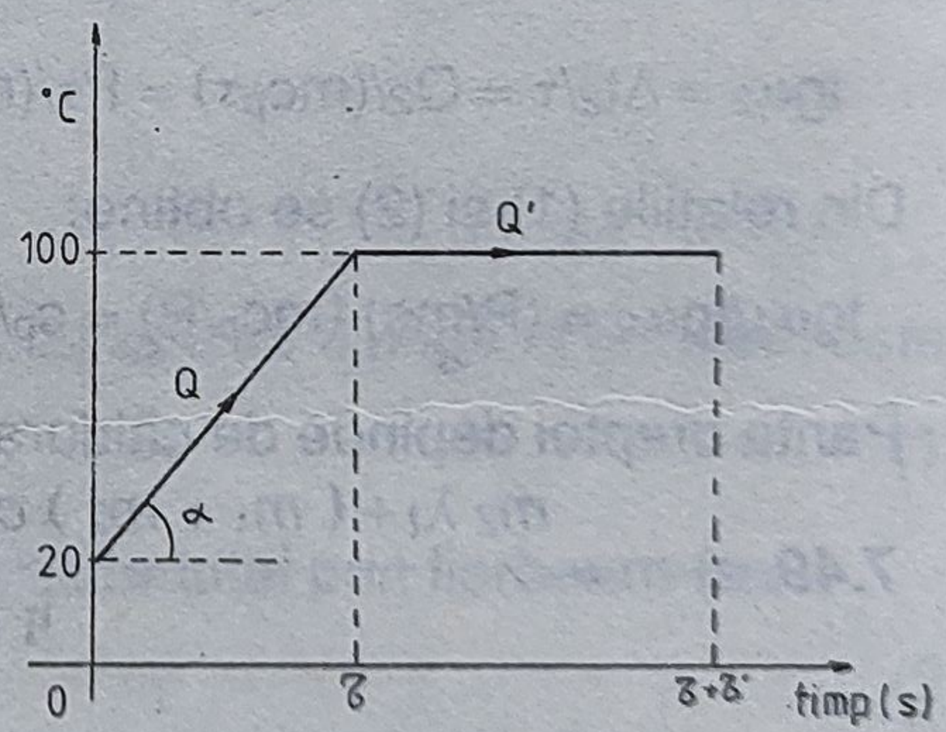


Fig. 95.

b) $\text{tg}\alpha = \Delta t/\tau = Q/(mc\tau) = \eta P/C$ (fig. 95)

7.53. $$x = \frac{m_1\,c_1\,(\,t_1 - \theta\,) - (\,m_2 + m_3\,)\,c_a\,(\,\theta - t_2\,)}{\lambda_v} = 174{,}13\ \text{g}$$

7.54. Din calcul avem: $mc'\Delta t = m_1\lambda_t$

Masa de gheață topită real rezultă din relația:

$$m\int_o^t c\,dt = m_2\,\lambda_t$$

$$m'_2 - m_1 = \frac{m}{\lambda_t}\left(\int_o^t c\,dt - c'\Delta t\right) = \frac{m}{\lambda_t}\left[\int_o^t (a + b\,t)\,dt - c'\Delta t\right] =$$

$$= \frac{m}{\lambda_t}\left[t\left(a + \frac{b\,t}{2}\right) - c'\Delta t\right] = 179{,}6\ \text{g}$$

7.55. $Q = \nu_{H_2} C_{V_{H_2}} \Delta T + m_a c_a \Delta T + m'\lambda_v$

Trebuie calculată cantitatea de hidrogen și masa de apă m', vaporizată.

Presiunea în vas este: $p = p_{H2} + p_v$

$$p_v V = (m/\mu)\cdot RT;\ p_v = (m/\mu)\cdot(RT/V) = 91309\ \text{Pa}$$

$$p_{H2} = p - p_{v0} \approx 1{,}1\cdot 10^5\ \text{Pa și } \nu_{H2} = p_{H2}V/(RT) \approx 1{,}2\ \text{moli}$$

Cum $p_v < p_0$ corespunzătoare temperaturii de 100°C, rezultă că toată apa se vaporizează, vaporii fiind nesaturanți.

Deci:

$$Q = \frac{5}{2} R\,\nu_{H_2}\Delta T + m_a c_a \Delta T + m_a \lambda_v = 50518\ \text{J}$$

7.56. a) AB -- căldura sensibilă pentru încălzirea gheții de la temperatura dată până la temperatura de topire, care, la presiunea normală, este 0°C ($mc_g\Delta t_1$) (fig. 96).

BC -- căldura latentă de topire. Toată gheața cu temperatura de 0°C trece în apă cu temperatura 0°C (două faze: solid -- lichid). ($m\lambda_t$)

CD – căldura sensibilă de încălzire a apei de la temperatura de 0°C la temperatura de fierbere, de 100°C ($mc_a\Delta t_2$).

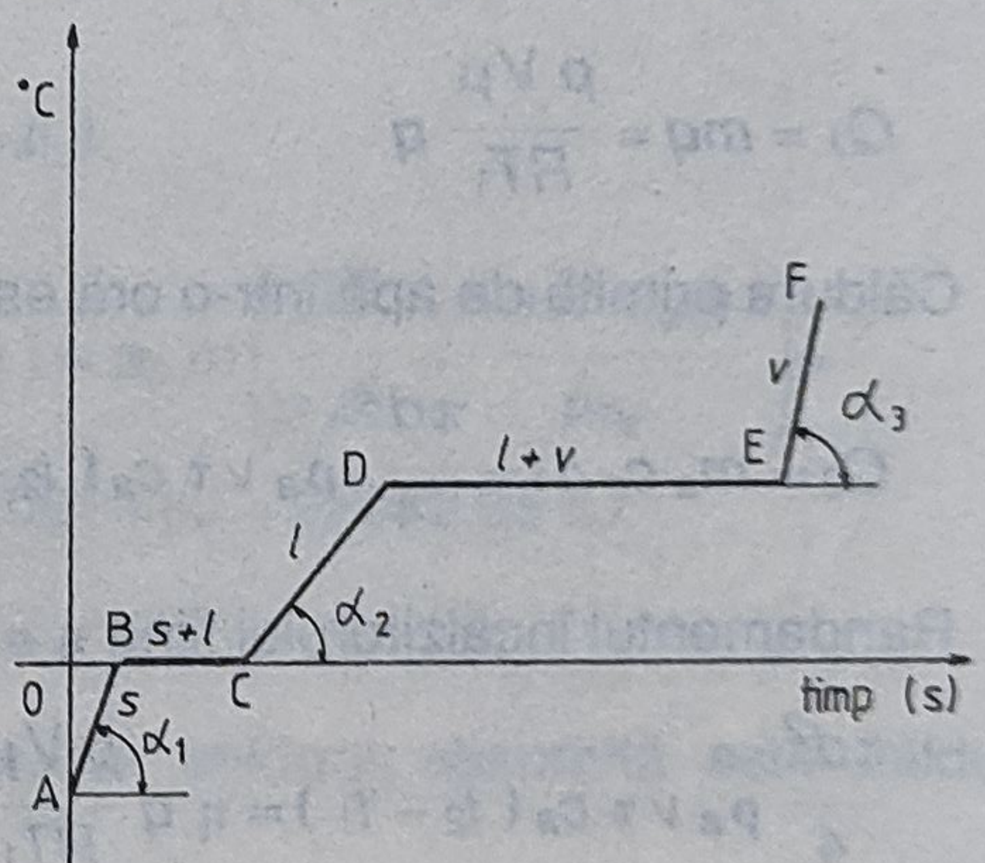


Fig. 96.

DE -- căldura latentă de vaporizare, când apa cu temperatura de 100°C trece în vapori la aceeași temperatură (două faze: lichid – vapori) ($m\lambda_v$),

EF – căldura sensibilă de încălzire a vaporilor de la temperatura de 100°C la temperatura finală: $mc_v\Delta t_3$.

b) De la A la B și de la C la D, forțele slăbesc puțin, iar de la B la C și de la D la E, forțele se micșorează accentuat, având loc schimbarea stării de agregare.

c) De la A la B, de la C la D și de la E la F crește energia internă, în special prin creșterea energiei cinetice (vibrație, translație, rotație).

De la B la C și de la D la E crește energia internă prin creșterea energiei potențiale, forțele de legătură slăbind mult cu schimbarea stării de agregare.

d) $tg\alpha_1 = \Delta t_1/\tau_1 = P\tau_1/(mc_g\tau_1) = P/(mc_g)$; $tg\alpha_2 = \Delta t_2/\tau_2 = P\tau_2/(mc_a\tau_2) = P/(mc_a)$

$tg\alpha_3 = \Delta t_3/\tau_3 = P\tau_3/(mc_v\tau_3) = P/(mc_v)$

Pantele dreptelor variază invers proporțional cu căldurile specifice sensibile în stările respective ($c_g = c_a/2$, $c_v < c_g$).

7.57. Problema implică discuții:

Se consideră temperatura finală 0°C. Căldura cedată de apă este:

$Q_1 = m'c(t - t_0)$ și căldura necesară topirii gheții este $Q_2 = m\lambda_t$.

a) Dacă $Q_1 < Q_2$, se topește o parte din gheață, adică $m'ct = m''\lambda_t$, și rămâne o masă de gheață: $m - m''$;

b) Dacă $Q_1 = Q_2$, se topește toată gheața și temperatura finală este 0°C;

c) Dacă $Q_1 > Q_2$, atunci:

$$m'c(t-\theta) = m\lambda_t + mc\theta \text{ de unde } \theta = \frac{m'ct - m\lambda_t}{c(m+m')}$$

7.58. a) Căldura degajată de metan prin ardere într-o oră este:

$$Q_1 = mq = \frac{pV\mu}{RT_1}q \qquad (1)$$

Căldura primită de apă într-o oră este:

$$Q_2 = m_a c_a \Delta t = \frac{\pi d^2}{4}\rho_a v\tau c_a(t_2 - t_1) \qquad (2)$$

Randamentul încălzitorului fiind $\eta = Q_u/Q_c = Q_2/Q_1$, avem:

$$\frac{\pi d^2}{4}\rho_a v\tau c_a(t_2 - t_1) = \eta q\frac{pV\mu}{RT_1} \Rightarrow t_2 = 92^o\,C$$

b) $Q_u = V/\tau = Sv = \frac{\pi D^2}{4}v \Rightarrow v = \frac{4V}{\pi D^2\tau} = 2{,}83\,\frac{m}{s}$

$$Q_m = Q_v\rho = \frac{V}{\tau}\rho_o\frac{pT_o}{p_oT} = \frac{V}{\tau}\frac{\mu}{V_{\mu o}}\frac{p}{p_o}\frac{T_o}{T} = 1{,}483\,\frac{kg}{h}$$

7.59. Vaporii, prin condensare și răcirea apei condensate, cedează căldură pe care o primește gheața, care trece în apă la temperatura de echilibru θ:

$$\frac{\pi d^2}{4}v\rho\tau[\lambda + c_a(t-\theta)] = m(-t_1c_g + \lambda_t + c_a\theta)$$

Cum, în cazul vaporilor, $\rho = \mu p/(RT)$, avem:

$$\tau = \frac{4m(-t_1 c_g + \lambda_t + c_a \theta) RT}{\pi d^2 v p \mu [\lambda_v + c_a(t - \theta)]} \approx 1{,}08 \text{ h}$$

7.60. a) Randamentul încălzitorului este $\eta = Q_u/(P \cdot t)$, unde Q_u este căldura necesară trecerii gheții în stare de vapori:

$$Q_u = m c_g (0^\circ - t_1) + m_g \lambda_t + m_g c_a (100^\circ - 0^\circ \text{ C}) + m_g \lambda_v \approx 24350{,}4 \text{ kJ}$$

Durata procesului este:

$$\tau = \frac{Q_u}{P\eta} = \frac{24350{,}4 \text{ kJ}}{0{,}8 \cdot 2 \text{ kW}} \approx 4{,}23 \text{ h}$$

b) Variația energiei interne se calculează aplicând primul principiu al termodinamicii:

$$Q = \Delta U + L = \Delta U + p\Delta V$$

Deci, $\Delta U = Q - p\Delta V$, unde p este presiunea normală p_0 și $\Delta V = V_{vapori} - V_{gheață}$

$$V_v = \frac{m}{\mu}\frac{RT}{p_o}; \quad V_g = \frac{m}{\rho_g} = \frac{m}{\rho_{o_g}}(1 + 3\alpha_g t_1)$$

$$\Delta U = Q - p_o\left[\frac{m}{\mu}\frac{RT}{p_o} - \frac{m}{\rho_o}(1 + 3\alpha_g t_1)\right] = p_o m\left(\frac{RT}{\mu p_o} - \frac{1 + 3\alpha_g t_1}{\rho_{o_g}}\right) =$$

$$= 24350{,}4 \text{ kJ} - 101325 \cdot 8\,(1{,}7003 - 0{,}001) \text{ kJ} = 22972{,}95 \text{ kJ}$$

c) Variația de entropie este $\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$.

Procesul de vaporizare este izoterm, iar căldura absorbită este căldură latentă, deci:

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T}\int dQ = \frac{m\lambda_v}{T} = \frac{8 \text{ kg} \cdot 2250 \text{ kJ kg}^{-1}}{373 \text{ K}} = 48{,}257 \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

7.61. a) Variația energiei interne a sistemului în transformarea suferită este suma variațiilor de entropie suferite de fiecare gaz.

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \int \frac{dQ_1}{T} + \int \frac{dQ_2}{T}.$$

Procesul fiind izoterm, $dQ = dL = pdV = \nu RT \cdot dV/V$.
Prin amestecare, fiecare din gaze trece de la volumul respectiv la volumul

$V_1 + V_2$. Deci:

$$\Delta S = \frac{m_1}{\mu_1} R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + \frac{m_2}{\mu_2} R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2} = 63 \frac{\text{mJ}}{\text{K}}$$

b) Energia internă la un gaz perfect este $U = (i/2)\cdot\nu RT = (i/2)\cdot pV$, unde i reprezintă numărul gradelor de libertate, care, la gazele biatomice are valoarea 5.

Gazele inițial au presiunile p_1 și p_2 și, prin amestecare, ajung la presiunea:

$$p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} = p'_1 + p'_2 ;$$

unde presiunile parțiale au valorile:

$p_1' = p\cdot V_1/(V_1 + V_2)$; $p_2' = p\cdot V_2/(V_1 + V_2)$

Variația energiei interne a sistemului va fi

$$\Delta U = \frac{L}{2} p'_1 (V_1 + V_2) + \frac{L}{2} p'_2 (V_1 + V_2) - \left(\frac{L}{2} p_1 V_1 + \frac{L}{2} p_2 V_2 \right) =$$

$$= \frac{L}{2} \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} (V_1 + V_2) - \frac{L}{2} (p_1 V_1 + p_2 V_2) = 0.$$

7.62. Căldura cedată de apă la răcirea până la 0°C este:

$$Q_2 = m_2 c (t_2 - t_o) = 23909{,}6 \text{ J}$$

Căldura necesară încălzirii gheții până la 0°C este:

$$Q_1 = m_1 c_1 (t_o - t_1) = 167200 > Q_2$$

Căldura eliberată la solidificarea apei este:

$$Q'_2 = m_2 \lambda = 95524 \text{ J și } Q_2 + Q'_2 = 119443{,}6 \text{ J} < Q_1$$

Rezultă că toată apa se solidifică și temperatura finală este sub 0°C. În acest caz, ecuația calorimetrică este:

$$m_1 c_g (\theta - t_1) = m_2 c_a (t_2 - t_0) + m_2 \lambda + m_2 c_g (\theta - t_0)$$

$$\theta = \frac{m_2 c_2 (t_2 - t_o) + m_2 \lambda + m_1 c_g t_1 - m_2 c_g t_o}{(m_1 - m_2) c_g} = -13{,}33^\circ \text{C}$$

7.63. a) Căldura cedată de apă este folosită de gheață pentru topire și de apa rezultată pentru încălzire până la temperatura finală, θ:

$$m_1 c_1 (t_1 - \theta) = m_2 \lambda + m_2 c_2 (\theta - t_2) \Rightarrow$$

$$\theta = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 - m_2 \lambda}{m_1 c_1 + m_2 c_2} = 12{,}6^{o}\,\mathrm{C}$$

b) $$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \int_{T_1}^{\theta} \frac{m_1 c_1\, dT}{T} + \frac{m_2 \lambda}{T_2} + \int_{T_2}^{\theta} \frac{m_2 c_2\, dT}{T}$$

$$\Delta S = m_1 c_1 \ln \frac{\theta}{T_1} + \frac{m_2 \lambda}{T_2} + m_2 c_2 \ln \frac{\theta}{T_2} = 209 \ln 0{,}9747 + 4{,}894 + 16{,}72 \ln 1{,}0462$$

$$= -5{,}0578 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} + 4{,}894 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} + 0{,}754 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} = 0{,}5902 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} > 0\,.$$

8. Umiditatea atmosferică

8.6. $\mathrm{B} = 100\mathrm{p}/\mathrm{p}_0 \Rightarrow p = \dfrac{B\,p_o}{100} = 8{,}575$ torr $\Rightarrow t \approx 9^{o}\,\mathrm{C}$

8.7. $$\Delta m = \frac{\mu\, p_s\, V}{RT}\left(1 - \frac{B}{100}\right) = 17{,}22\ \mathrm{g}$$

8.8. $\mathrm{m} = 736$ g

8.9. $$p' = p + \frac{p_s}{100}(B - B') = 756{,}67\ \mathrm{mm\ Hg}$$

8.10. $\mathrm{m} = 7{,}95$ kg

8.11. Da: $\mathrm{m} = 2{,}44$ g

8.12. $\mathrm{p} = 750{,}98$ mm Hg

8.13. $\mathrm{V} = 0{,}495$ l

8.14. $$p_v = p_{atm} - p_{Hg} - p_{alc} = p_{atm} - p_{Hg} - \frac{\rho_{alc}}{\rho_{Hg}} \cdot h_{alc} = 12{,}65\ \mathrm{mm\ Hg}$$

8.15. $\mathrm{s} = 43{,}6\%$

8.16. a) $\mathrm{s} = 0{,}76$; b) $\Delta\mathrm{m} = 0{,}98$ cg

8.17. a) $\lambda = 2\,\mathrm{l} = 120$ cm; $\mathrm{v} = 2\nu\mathrm{l}/3 = 40$ m/s

b) $\mathrm{d} = \mathrm{v}\tau \Rightarrow \tau = \mathrm{d}/\mathrm{v}$ (1)

Viteza sunetului în aer depinde de temperatură și umiditate și se exprimă prin relația:

$$v_{umed} = v_{uscat}\left(1 + 0{,}6\,\frac{p_{vap.}}{p_{at.}}\right)\sqrt{1 + \alpha\, t} \qquad (2)$$

$$B = 100\,\frac{p_{vap.}}{p_s} \Rightarrow p_{vap.} = \frac{B\,p_s}{100} \qquad (3)$$

Din relațiile (1), (2) și (3) se calculează timpul τ:

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI
FIZICĂ

$$\tau = d \frac{1}{v_{uscat}\left(1 + \frac{0{,}6\, B\, p_s}{100\, p_{at.}}\right)} \sqrt{1 + \alpha\, t} = 0{,}288 \text{ s}$$

c) Lungimea de undă a sunetului în aer se calculează pentru sunetul fundamental:

$$\lambda_{sunet} = \frac{v_{umed}}{\nu_{fund.}} = 3 \frac{v_{umed}}{\nu_3} = 10{,}41 \text{ m}$$

8.18. a) Procesul de comprimare este izoterm și se aplică legea Boyle-Mariotte vaporilor nesaturanți:

$$pV = p_1V_1 \Leftrightarrow pV = p_1 \cdot (V/n) \Rightarrow p_1 = np = 1{,}2 \cdot 540 = 648 \text{ torr}$$

Vaporii, după comprimare, rămân tot nesaturanți, deoarece, pentru temperatura de 100°C, $p_s = 760$ torr > p_1.

b) Se aplică legea Boyle-Mariotte până la limita de saturare:

$$pV = p_s \cdot V/n \Rightarrow n = p_s/p = 760/540 \approx 1{,}4$$

c) După ce volumul a devenit de 1,4 ori mai mic comprimarea se face în continuare izobar și o parte din vapori se condensează. Masa de apă condensată se obține din ecuația de stare a gazelor perfecte pentru vapori:

$$\Delta m = m - m' = \frac{\mu\, V}{RT}\left(p - \frac{p_s}{n}\right) = 0{,}1235 V \text{(kg)}.$$

8.19. La temperatura t_1 avem $p_{v_1}\, V = \frac{m}{\mu} RT_1$ *și* $B_1 = 100 \frac{p_{v_1}}{p_{s_1}}$, de unde

$$B_1 \frac{p_{s_1}}{100} V = \frac{m}{\mu} RT_1 \qquad (1)$$

Analog, pentru temperatura t_2 avem

$$B_2 \frac{p_{s_2}}{100} V = \frac{m}{\mu} RT_2 \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) rezultă

$$B_2 = B_1 \frac{p_{s_1}}{p_{s_2}} \frac{T_2}{T_1} = 3 \frac{760 \text{ torr}}{21 \text{ torr}} \cdot \frac{296 \text{ K}}{373 \text{ K}} = 85{,}6 \%$$

Umiditatea absolută: $s = \frac{m}{V} = \frac{p_{v_1}\, \mu}{RT_1} = \frac{B_1\, p_{s_1}}{100} \cdot \frac{\mu}{RT_1} = 17{,}64 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$

8.20. a) Presiunea parțială a vaporilor de apă saturanți la 60°C, dată în tabele este $p_{s1} = 149{,}4$ torr.

Masa vaporilor de apă saturanți dintr-un m^3 de apă este:

$$p_{s_1} V = \frac{m}{\mu} RT_1 \Rightarrow$$

$$m_1 = \frac{p_{s_1} \mu V}{RT_1} = \frac{149{,}4}{760} \cdot \frac{101325\ \mathrm{Nm^{-2}} \cdot 18\ \mathrm{kg\ kmol^{-1}} \cdot 1\ \mathrm{m^3}}{8314\ \mathrm{J\ kmol^{-1}\ K^{-1}} \cdot 333\ \mathrm{K}} = 129{,}5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg}$$

Masa vaporilor de apă saturanți la 35°C este:

$$m_2 = \frac{p_{s_2} \mu V}{RT_2} = \frac{42{,}14}{760} \cdot \frac{101325\ \mathrm{Nm^{-2}} \cdot 18\ \mathrm{kg\ kmol^{-1}} \cdot 1\ \mathrm{m^3}}{8314\ \mathrm{J\ kmol^{-1}\ K^{-1}} \cdot 308\ \mathrm{K}} = 39{,}5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg}$$

Masa de apă condensată dintr-un m^3 într-o oră este:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 0{,}9 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{kg}$$

Masa totală de apă condensată în 24 ore este:

$$\Delta m_{total} = \Delta m \cdot 24 \cdot 10^6 = 216 \cdot 10^4\ \mathrm{kg}$$

b) Presiunea în conductă este dată de gaz și de vaporii saturanți:

$$p_1 = p_1' + p_{s1} \Rightarrow p_1' = p - p_{s1} = 2\ \mathrm{at} - 149{,}4/735{,}56 \approx 1{,}8\ \mathrm{at}$$

Presiunea gazului la 35°C devine:

$$\frac{p'_1}{T_1} = \frac{p'_2}{T_2} \Rightarrow p'_2 = p'_1 \frac{T_2}{T_1} = 1{,}8\ \mathrm{at} \cdot \frac{308}{333} = 1{,}665\ \mathrm{at}$$

Presiunea totală în conductă este:

$$p_2 = p'_2\, p_{s_2} = 1{,}665\ \mathrm{at} + \frac{42{,}14}{735{,}56} = 1{,}322\ \mathrm{at}$$

8.21. a) Din legea conservării energiei rezultă:

$$\eta P \tau = \lambda \Delta m \qquad (1)$$

unde Δm este masa de apă ce se vaporizează în timpul τ și se calculează din ecuația de stare:

$$\left(p + \frac{Mg}{S}\right) \Delta V = \frac{\Delta m}{\mu} RT$$

unde $\Delta V = v \tau S$ și

$$\Delta m = \left(p + \frac{Mg}{S} \right) \frac{v \tau \mu S}{RT} \qquad (2)$$

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$T = \left(p + \frac{Mg}{S} \right) \frac{v \lambda \mu S}{\eta R P} \cong 400 \text{ K}$$

b) Variația energiei interne se calculează folosind ecuația primului principiu al termodinamicii:

$\Delta U = \lambda \Delta m - L = \eta P \tau - (p + Mg/S) v S \tau$, de unde:

$$\frac{\Delta U}{\tau} = \eta P - \left(p + \frac{Mg}{S} \right) vS = 1599{,}87 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

8.22. a) Căldura cedată de aer se regăsește în căldurile latente și de încălzire a apei până la temperatura t_2:

$$m_{aer} c_{vaer} (T_1 - T_2) = m_g (\lambda_t + c_{apă} t_2 + \lambda_v) \qquad (1)$$

de unde:

$$\lambda_v = \frac{m_{aer}\, c_{v_{aer}} (T_1 - T_2) - m_g (\lambda_t + c_{apă}\, t_2)}{m_g} \qquad (2)$$

Masa gheții este masa vaporilor ce saturează aerul la temperatura t_2 și se obține din ecuația de stare:

$$m_g = \frac{\mu p_s V}{RT_2} = \frac{18 \cdot 1000{,}6 \cdot 40}{8314 \cdot 280} = 309{,}47 \text{ g}$$

Masa aerului din cameră este:

$$m_{aer} = \frac{p V \mu_{aer}}{RT_1} \approx 45{,}45 \text{ kg}$$

Prin înlocuirea valorilor numerice în relația (1), se obține:

$\lambda \approx 2{,}5 \cdot 10^6$ J/kg

b) Presiunea finală în cameră rezultă din presiunea aerului și a vaporilor de apă saturanți.

$$p_f = p_{aer} + p_{vap} = p \cdot T_2/T_1 + p_s = 90322{,}58 + 1000{,}58 \approx 91323 \text{ Pa}$$

Răspunsuri

Testul I

1. b; 2. d; 3. c (scade invers proporțional) $tg\alpha = mR/\mu p$; 4. d; 5. b; 6. b; 7. a; 8. b; 9. c; 10. c; 11. c;

Testul II

1. c; 2. d; 3. a; 4. b; 5. c; 6. c; 7. b; 8. b; 9. b; 10. a; 11. d;

Testul III

1. c; $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3pV}{m}} = 480 \frac{m}{s}$; 2. b; $\Delta S = \frac{mR}{\mu} = 0{,}8314 \frac{J}{K}$ și $\Delta U = 0$;

3. b; 4. b; $\theta = \frac{C_1 t_2 + m_2 c_2 t_2 + m_3 c_3 t_3 + m_4 c_4 t_4}{C_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 + m_4 c_4} = 24{,}06^\circ C$; 5. d;

6. c; $m_2 = m_1 \frac{1 + \gamma t_1}{1 + \gamma t_2} = 7{,}492$ kg; 7. c; $m = \frac{\lambda' \Delta m}{\lambda'' + ct} = 253{,}41$ g;

8. b; $m_4 = \frac{m_2 \lambda_g + (m_1 + m_2) c_a + m_3 \lambda_v}{\lambda_{Pb} + c(t_t - \theta)} = 33$ kg;

9. d; $\tau = \dfrac{\mu V}{R\Delta m}\left(\dfrac{p_1}{T_1} - \dfrac{p_2}{T_2}\right) \approx 16{,}8$ h ;

10. a; $\eta = 1 - \dfrac{\gamma\left(1 - \dfrac{V_1}{V_2}\right)}{\dfrac{V_1}{V_2} + (\gamma - 1)\ln\dfrac{V_2}{V_1}} = 14{,}2\ \%$; 11. a.

Testul IV

1. c; 2. a, $T_4 = T_1\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 100$ K ; 3. b; $t_2 = \dfrac{Q + mct_1}{mc} = -9^o$ C ;

4. c; $\alpha = \dfrac{l_2 - l_1}{l_1 t_2 - l_2 t_1} = 2{,}94 \cdot 10^{-5}$ grd^{-1} ; 5. a;

6. a; $m_3 = \dfrac{m_1\lambda_t + (m_1 + m_2)c_a\theta}{\lambda_v + c_a(100 - \theta)} \approx 3{,}6$ kg ;

7. b; $p = \dfrac{L - l - h}{L}(p_o - \rho g h)\dfrac{760}{101325} = 44{,}28$ torr ;

8. a; $\theta = \dfrac{3N_1 t_1 + 5N_2 t_2}{3N_1 + 5N_2} = 42{,}5^o$ C ; 9.b;

10. a; $p_{final} = \dfrac{m n RT}{\mu_{aer} V} + p_s\left(1 - \dfrac{\mu_{apă}}{\mu_{aer}} n\right)$, apa condensată este $m_c = 1{,}875$ g;

11. a; $L = \dfrac{(\nu_1 + \nu_2) R\Delta T}{\dfrac{\nu_1\gamma_1(\gamma_2 - 1) + \nu_2\gamma_2(\gamma_1 - 1)}{\nu_1(\gamma_2 - 1) + \nu_2(\gamma_1 - 1)} - 1} = 11710$ J, deoarece $\nu C_v \Delta T =$

$= \nu_1 C_{v_1}\Delta T + \nu_2 C_{v_2}\Delta T$;

12. c; Trecerea de la starea 2 la starea 3 se face cu variație de temperatură, care trece printr-un maxim în punctul M (fig. 97). Acest punct corespunde intersecției izotermei corespunzătoare temperaturii maxime de dreapta ce trece prin stările 2 și 3.

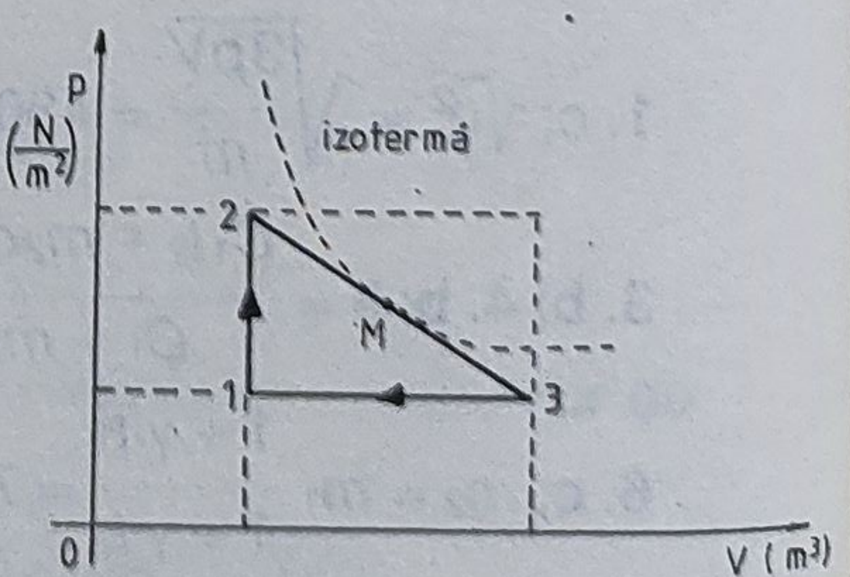


Fig. 97.

Ecuația dreptei este: $(p - p_1) = -\dfrac{p_1}{V_1}(V - V_3)$ (1)

Ecuația izotermei este: $pV = \nu RT$ (2)

Prin eliminarea presiunii se obține:

$$p_1 V^2 - 3p_1 V_1 V + \nu RTV_1 = 0$$

unde $\Delta = 0$ și se obține:

$$\Delta = 9p_1^2 V_1^2 - 4p_1 V_1 \nu RT_m = 0$$

Deci, $T_{max} = 9p_1V_1/4\nu R$ și $T_1 = p_1V_1/\nu R$; $\eta = 1 - T_1/T_{max} = 1 - 4/9 = 0,56 = 56\%$.

Călduri specifice, temperaturi de topire, călduri latente specifice de topire

Substanța	Căldura specifică J/kg·K	Temperatura de topire °C	Căldura latentă specifică J/kg
Alamă	376,2	900	–
Aluminiu	919,6	659	$321{,}86 \cdot 10^3$
Argint	250,8	960,5	$108{,}68 \cdot 10^3$
Aur	125,4	1063	$66{,}46 \cdot 10^3$
Cupru	376,2	1084	$175{,}56 \cdot 10^3$
Fier (oțel)	459,8	1530	$204{,}82 \cdot 10^3$
Gheață	2090	0	$334{,}4 \cdot 10^3$
Nichel	459,8	1460	–
Platină	125,4	1775	$112{,}86 \cdot 10^3$
Plumb	125,4	327	$20{,}9 \cdot 10^3$
Staniu	250,8	232	$58{,}52 \cdot 10^3$
Sticlă	836	–	–
Sulf	731,5	114	42845
Zinc	376,2	419	$117 \cdot 10^3$

Călduri specifice, temperaturi de fierbere, călduri latente specifice de vaporizare

Substanța	Căldura specifică J/kg·K	Temperatura de fierbere °C	Căldura latentă specifică J/kg
Alcool	2424,4	78	$146{,}3 \cdot 10^3$
Apă	4180	100	$2253 \cdot 10^3$
Eter	2340	35	$355{,}3 \cdot 10^3$
Mercur	125,4	359	$284{,}24 \cdot 10^3$
Petrol	2131,8	110–120	$313{,}50 \cdot 10^3$
Sulfură de carbon	10^3	46,2	$355{,}3 \cdot 10^3$

Coeficienți de dilatație liniară (valori medii)

Substanța	Coeficient de dilatație grd^{-1}	Substanța	Coeficient de dilatație grd^{-1}
Alamă	0,000185	Oțel	0,000010
Aluminiu	0,000022	Platină	0,000009
Argint	0,000019	Plumb	0,000293
Cupru	0,000017	Staniu	0,000023
Fier	0,000012	Sticlă	0,000009
Nichel	0,000028	Zinc	0,000291

Coeficienții de dilatație volumică (γ) (valori medii)

Substanța	Coeficient de dilatație grd^{-1}	Substanța	Coeficient de dilatație grd^{-1}
Acid sulfuric	0,0006	Eter	0,0016
Aer	1/273	Mercur	0,00018
Alcool etilic	0,001	Petrol	0,001
Apă	0,00015	Sulfură de carbon	0,0012
Benzen	0,00124	Ulei	0,00072
Glicerină	0,0005		

Coeficienți de rezistență (C)

Corpul	Coeficientul
Placă plană subțire (perpendiculară pe curent)	1,1
Emisferă deschisă, cu concavitatea contra curentului	1,3–1,6
Emisferă deschisă, cu convexitatea contra curentului	0,35
Sferă	0,2–0,4
Corp cu formă aerodinamică	0,055

Coeficienți de tensiune superficială (σ)

Substanța	Coeficientul în N/m	Substanța	Coeficientul în N/m
Acid acetic	$28 \cdot 10^{-3}$	Glicerină	$66 \cdot 10^{-3}$
Alcool etilic	$21 \cdot 10^{-3}$	Mercur	$470 \cdot 10^{-3}$
Apă	$73 \cdot 10^{-3}$	Petrol	$24 \cdot 10^{-3}$
Eter	$17 \cdot 10^{-3}$	Soluție săpun (1%)	$40 \cdot 10^{-3}$

Călduri specifice la gaze (sub presiune constantă) (c_p)

Substanța	Căldura specifică J/kg·grd	Substanța	Căldura specifică J/kg·grd
Aer	1000	Heliu	5200
Amoniac	2100	Hidrogen	14300
Azot	1000	Oxigen	920
Bioxid de carbon	830	Vapori de apă (la 760 torr)	2200

Puterea calorică a combustibililor (q)

Combustibilul	Puterea calorică în J/kg	Combustibilul	Puterea calorică în J/kg
Alcool	$3 \cdot 10^7$	Huilă	$3{,}4 \cdot 10^7$
Benzină	$4{,}6 \cdot 10^7$	Lemn uscat	$1{,}5 \cdot 10^7$
Gaz natural	$3{,}6 \cdot 10^7$ J/m^3	Mangal	$3{,}3 \cdot 10^7$
Gaz de luminat	$1{,}6 \cdot 10^7$ J/m^3	Petrol	$4{,}6 \cdot 10^7$

Factori numerici uzuali și câteva formule de aproximare

Factori numerici	Formule de aproximare ($\alpha \ll 1$)
$\pi = 3{,}1416$	$(1 \pm \alpha)^n \approx 1 \pm n\alpha$
$\pi^2 = 9{,}8596$	$e^{\alpha} \approx 1 + \alpha$
$\sqrt{\pi} = 1{,}7725$	$\ln(1 + \alpha) \approx \alpha$
$e = 2{,}7183$	$\sin\alpha \approx \alpha$ (radian)
$\log e = 0{,}4343$	$\cos\alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$
$\ln 10 = 2{,}3026$	$\operatorname{tg}\alpha \approx \alpha$

Presiunea și densitatea vaporilor saturanți ai apei (la temperatura sub 0°C – presiunea deasupra gheții)

t (°C)	P_s (torr)	ρ_s (g/m^3)	t (°C)	P_s (torr)	ρ_s (g/m^3)	t (°C)	P_s (torr)
–75	$6 \cdot 10^{-4}$	–	16	13,617	13,7	50	92,49
–60	0,007	–	17	14,511	14,5	52	102,1
–30	0,28	0,47	18	15,457	15,4	54	112,5
–20	0,77	0,96	19	16,456	16,3	55	118
–10	1,95	2,14	20	17,512	17,3	56	123,8
–9	2,13	2,33	21	18,626	18,3	58	136,1
–8	2,32	2,54	22	19,803	19,4	60	149,4
–7	2,53	2,76	23	21,043	20,5	62	163,8
–6	2,76	2,99	24	22,351	21,8	64	174,3
–5	3,01	3,24	25	23,729	23	66	196,1
–4	3,28	3,51	26	25,181	24,5	68	214,2
–3	3,57	3,81	27	26,709	25,8	70	233,7
–2	3,88	4,13	28	28,318	27,2	72	254,7
–1	4,22	4,47	29	30,012	28,7		
0	4,581	4,84	30	31,792	30,4	74	277,2
1	4,924	5,2	31	33,663		76	301,4
2	5,290	5,6	32	35,630		78	327,4
3	5,679	6,0	33	37,695		80	355,2
4	6,094	6,4	34	39,864		82	385,0
5	6,536	6,8	35	42,139	39,6	84	416,8
6	7,006	7,3	36	44,527		86	450,8
7	7,505	7,8	37	47,031		88	487,2
8	8,036	8,2	38	49,656		90	525,9
9	8,599	8,8	39	52,407		92	567,1
10	9,198	9,4	40	55,29	51,2	94	611,0
11	9,831	10	42	61,46		96	657,7
12	10,504	10,7	44	68,23		98	707,3
13	11,217	11,4	45	71,88	65,4	100	760
14	11,972	12,0	46	75,62		102	815,9
15	12,771	12,8	48	83,69		104	875,1

Teora - Cartea prin poștă

Peste 70.000 de cititori (iulie 1996) beneficiază deja de acest sistem. Lunar, alte câteva mii de noi cititori apelează la serviciile noastre.

Puteți primi la domiciliu cărțile dorite, cu plata ramburs la primirea coletului!

Vă puteți număra printre cititorii noștri fideli începând chiar de azi !

Tot ce aveți de făcut este să completați cartea poștală galbenă inclusă în această carte și în orice altă carte Teora și să o introduceți, fără timbru, în prima cutie poștală.

Nu ezitați! Scrieți-ne acum!

Teora vă pregătește pentru secolul 21

BACALAUREAT 9 ADMITERE

- Dacă vreți ca examenele de bacalaureat și admitere în învățământul superior să nu mai reprezinte o problemă pentru dvs...
- Dacă vreți să fiți la curent cu noile metode de testare a cunoștințelor...

... atunci seria **Bacalaureat–Admitere** este exact ceea ce vă trebuie!

Probleme de fizică

Termodinamică
Fizică moleculară
Căldură

O culegere care asigură elevilor claselor a X-a certitudinea unor note mari la teze și examene!

În această carte veți găsi:

- Considerații teoretice
- Probleme-model rezolvate
- Răspunsuri și indicații la problemele propuse
- Teste de evaluare
- Tabele cu constante fizice

Editura Teora
ISBN 973-601-440-1
Lei 11.000